

**INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CURSO DE BACHAREL EM QUÍMICA INDUSTRIAL**

**ALVERIANA TAGARRO TOMAZ
BÁRBARA VITÓRIA**

**AVALIAÇÃO DO VERMICOMPOSTO NA REMOÇÃO DE INDIGO BLUE E
CONGO RED DE ÁGUA**

**VILA VELHA
2020**

ALVERIANA TAGARRO TOMAZ
BÁRBARA VITÓRIA

**AVALIAÇÃO DO VERMICOMPOSTO NA REMOÇÃO DE INDIGO BLUE E
CONGO RED DE ÁGUAS**

Monografia apresentada à Coordenadoria do Curso de Bacharel em Química Industrial do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vila Velha, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Química Industrial.

Orientadora: Dra. Araceli Verónica Flores Nardy Ribeiro.

VILA VELHA - ES
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Valéria Rodrigues de Oliveira CRB6/ES-477

T655a Tomaz, Alveriana Tagarro

Avaliação do vermicomposto na remoção de *índigo blue e congo red* de águas. / Alveriana Tagarro Tomaz, Bárbara Vitória. – 2020.

59 f. : il. col. ; 30 cm.

Inclui bibliografia.

Orientadora: Dra. Araceli Verónica Flores Nardy Ribeiro.
Monografia (Graduação) – Instituto Federal do Espírito Santo,
Campus Vila Velha, Coordenadoria do Curso de Química Industrial,
2020.

1. Corantes e coloração. 2. Corantes e tingimento. 3. Pigmentos. 4.
Corantes. I. Vitória, Bárbara. II. Ribeiro, Araceli Verónica Flores Nardy
III. Instituto Federal do Espírito Santo. IV. Título.

CDD: 667



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
VVL - COORDENADORIA DO CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA INDUSTRIAL

ATA N° 1267/2020 - VVL-CCQI (11.02.34.01.08.02.04)

N° do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO

Vila Velha-ES, 11 de dezembro de 2020.

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 04 dias do mês de Dezembro do ano de 2020, a Banca foi realizada a distância, via plataforma RPN (<https://conferenciaweb.mp.br/webconf/araceli-veronica-flores-nardy-ribeiro>), de acordo com o estabelecido na Resolução nº 1/2020 do Conselho Superior do Ifes. Realizou-se a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "AVALIAÇÃO DO VERMICOMPOSTO NA REMOÇÃO DE INDIGO BLUE E CONGO RED DE ÁGUA", apresentado pelos(as) alunos(as) ALVERIANA TAGARRO TOMAZ e BÁRBARA VITÓRIA do Curso Bacharelado em Química Industrial, perante a Banca Examinadora, composta pelos(as) profissionais CRISTIANE PEREIRA ZDRADEK e JOSELITO NARDY RIBEIRO. Após a apresentação e arguições, a banca examinadora deliberou concluindo pela APROVAÇÃO do Trabalho de Conclusão de Curso, desde que o(a) aluno(a) realize as correções conforme as considerações sugeridas pela Banca Examinadora e sob a supervisão do(a) orientador(a), entregue à Coordenação do Curso de Química Industrial e à Biblioteca, sendo o requisito para o registro no histórico. Proclamado o resultado, eu, ARACELI VERÓNICA FLORES NARDY RIBEIRO, Professora Orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso, encerro os trabalhos dessa Banca Examinadora e com os seus membros, assino a presente ata.

(Assinado digitalmente em 11/12/2020 18:39)
ARACELI VERÓNICA FLORES NARDY RIBEIRO
PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO TÉCNICO E TECNOLÓGICO
VVL-CCQI (11.02.34.01.08.02.04)
Matrícula: 1109698

(Assinado digitalmente em 12/12/2020 15:42)
CRISTIANE PEREIRA ZDRADEK
PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO TÉCNICO E TECNOLÓGICO
VVL-CCQI (11.02.34.01.08.02.04)
Matrícula: 1213801

(Assinado digitalmente em 11/12/2020 18:37)
ROBERTA PACHECO FRANCISCO FELIPETTO
COORDENADOR DE CURSO - TITULAR
CHEFE DE UNIDADE
VVL-CCQI (11.02.34.01.08.02.04)
Matrícula: 2769161

(Assinado digitalmente em 14/12/2020 19:43)
BÁRBARA VITÓRIA
DISCENTE
Matrícula: 9999223234

(Assinado digitalmente em 14/12/2020 19:46)
ALVERIANA TAGARRO TOMAZ
DISCENTE
Matrícula: 9999223238

(Assinado digitalmente em 14/12/2020 19:52)
JOSELITO NARDY RIBEIRO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 081.902.696-34

Processo Associado: 23187.001934/2020-14

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ifes.edu.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 1267, ano: 2020, tipo: ATA, data de emissão: 11/12/2020 e o código de verificação: 03a00124c2

DECLARAÇÃO DAS AUTORAS

Declaro, para fins de pesquisa acadêmica, didática e técnico-científica, que este Trabalho de Conclusão de Curso pode ser parcialmente utilizado, desde que se faça referência à fonte e às autoras.

Vila Velha, 16 de dezembro de 2020.

Alveriana Tagarro Tomaz

Bárbara Vitória

AGRADECIMENTOS

Nossos mais sinceros agradecimentos ao LUCAR, Laboratório de Ultraestrutura Celular Carlos Alberto Redins, CCS/UFES, pelas imagens obtidas a partir de SEM; ao laboratório do Prof. Dr. André Romero da Silva, do Ifes campus Aracruz-ES, pela determinação de grupos químicos por FTIR; ao Prof. Dr. Madson de Godoi Pereira, do Departamento de Química da UNEB, Salvador-BA, pelo enriquecimento dos tratamentos matemáticos das isotermas de adsorção; ao Ifes campus Vila Velha-ES e ao LMDA/CCS/UFES pela averiguação e validação dos demais experimentos; ao extinto Progrupos Ifes, e, à FAPES pelo aparelhamento de alguns laboratórios que permitiram a execução de vários ensaios deste trabalho. Em especial, ao Prof. Dr. Joselito Nardy Ribeiro, que tanto nos auxiliou no desenvolvimento desta pesquisa e à Prof. Dra. Araceli Verónica Flores Nardy Ribeiro, por aceitar nos orientar e por toda paciência, ensinamento e confiança.

RESUMO

Diversos tipos de corantes são largamente utilizados em indústrias têxteis e estas, por sua vez, liberam toneladas de efluentes no ambiente aquático. Os corantes são poluentes tóxicos que podem causar sério desequilíbrio ambiental. Portanto, é de enorme interesse o desenvolvimento de metodologias capazes de remover esses corantes do meio aquoso. Dentre os processos estudados, um dos que se destaca é a adsorção empregando adsorventes naturais. O estudo desse tipo de material não se dá só por sua eficiência na remoção de poluentes da água, mas também por sua elevada disponibilidade e baixo custo. Dentre os adsorventes estudados na remoção de poluentes da água pode-se citar o bagaço de cana-de-açúcar, o mesocarpo de coco, o bagaço de laranja, a serragem de madeira, o pó da casca de juazeiro, o resíduo de lama vermelha, a casca de banana e o vermicomposto. Este é sintetizado no trato digestivo de minhocas, que transformam a matéria orgânica da qual se alimentam no solo, em vermicomposto e outros compostos, de modo que sua composição varia a depender do solo onde se encontram as minhocas. Pode-se afirmar que sua estrutura química é complexa, rica em compostos poliméricos contendo grupos hidroxilas, carboxílicos, aromáticos, etc. Tal complexidade química, aliada à estrutura física irregular, faz do vermicomposto um eficiente adsorvente natural, já testado para remoção de metais pesados, pesticidas e corantes em meio aquoso. Portanto, o presente trabalho teve como finalidade verificar e entender a capacidade do vermicomposto (VMC) em remover os corantes têxteis *Indigo Blue (IB)* e *Congo Red (CR)*, largamente presentes em efluentes de indústrias têxteis. A avaliação da eficiência adsorptiva do VMC para IB e CR necessitou de uma série de etapas, como a análise da morfologia de superfície do adsorvente empregando microscopia eletrônica de varredura; a verificação da presença de grupos químicos no VMC empregando-se a espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier; a influência da massa do vermicomposto na eficiência adsorptiva; a influência do tempo de contato e agitação entre o adsorvente e cada corante; a influência das concentrações dos corantes no processo adsorptivo e, finalmente, o tratamento matemático para obtenção de valores de parâmetros como capacidade máxima adsorptiva do VMC em relação a IB e CR, variações de Energia Livre de Gibbs, constantes de ligação ou adsorção e, por último os valores de constante adimensional. A capacidade máxima adsorptiva de VMC para IB (41,66 mg/g) e CR

(23,25 mg/g), que significam o quanto de corante, em mg, pode ser removido por grama do VMC, foram bastante significativos. Além disso, outros valores obtidos para parâmetros físico-químicos como o ΔG para IB/VMC (-26,22 kJ/mol) e CR/VMC (-29,24 kJ/mol) respectivamente, indicam processos de interação favoráveis. Isso é reforçado pelos valores das constantes adimensionais para IB (0,010) e CR (0,002) e de ligação ou adsorção também para IB (0,15 L/mg) e CR (0,19 L/mg), que contribuem para transformar o VMC em mais uma alternativa na remoção de CR e IB, presentes em efluentes de indústrias têxteis.

Palavras-chave: Adsorção. Adsorvente natural. Corantes têxteis. Vermicomposto.

ABSTRACT

Many types of dyes are widely used in textile industries and these, in turn, release tons of effluents into the aquatic environment. Dyes are toxic pollutants that can cause serious environmental imbalance. Therefore, it is of great interest to develop methodologies capable of removing these dyes from the aqueous medium. Among the studied processes, one of the most outstanding is the adsorption using natural adsorbents. The study of this type of material is not only due to its efficiency in removing pollutants from water, but also due to its high availability and low cost. Among the adsorbents studied in the removal of pollutants from water, sugar cane bagasse, coconut mesocarp, orange bagasse, wood sawdust, juazeiro bark powder, red mud residue can be mentioned, banana peel and vermicompost. It is synthesized in the digestive tract of earthworms, which transform the organic matter from which they feed in the soil, into vermicompost and other compounds, so that its composition varies depending on the soil where it is indicated as earthworms. However, it can be said that, in general, its chemical structure is complex, rich in polymeric compounds containing hydroxyl, carboxylic, aromatic groups, etc. Such chemical complexity, combined with the irregular physical structure, makes vermicompost an efficient natural adsorbent, already tested to remove heavy metals, pesticides and dyes in aqueous media. Therefore, the present work aimed to verify and understand the vermicompost's capacity to remove textile dyes indigo blue (IB), and, congo red (CR), widely present in effluents from textile industries. The evaluation of the adsorptive efficiency of the VMC for IB and CR required a series of steps such as the analysis of the surface morphology of the VMC using Scanning electron microscopy; verification of the presence of chemical groups in the VMC using Fourier transform infrared spectroscopy; the influence of the vermicompost mass on adsorptive efficiency; the influence of the contact and agitation time between the adsorbent of each dye; the influence of dye concentrations in the adsorptive process and, finally, the mathematical treatment to obtain values of parameters such as maximum adsorptive capacity of VMC in relation to IB and CR, Gibbs Free Energy variations, binding or adsorption constants and, finally, the dimensionless constant values. The maximum adsorptive capacity values of VMC for IB (41.66 mg/g) and CR (23.25 mg/g), which mean how much dye, in mg, can be removed per gram of VMC, were quite significant. In addition, other values obtained for physical-chemical parameters such as ΔG for

IB/VMC (-26.22 kJ/mol) and CR/VMC (-29.24 kJ/mol) respectively, indicate favorable interaction processes. This is reinforced by the values of dimensionless constants for IB (0.010) and CR (0.002) and binding or adsorption constants also for IB (0.15 L/mg) and CR (0.19 L/mg), which contribute to transform VMC into another alternative for the removal of CR and IB, present in effluents from textile industries.

Keywords: Adsorption. Natural adsorbents. Textile dyes. Vermicompost.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura química do corante Congo Red	25
Figura 2 – Estrutura química do corante Indigo Blue	25
Figura 3 – Partículas de VMC com granulometria entre 2,38 e 4,76 mm.....	26
Figura 4 – Partículas de VMC em MEV, escala 10 μ m	33
Figura 5 – Espectro de FTIR para VMC	34
Figura 6 – Porcentagem de adsorção de IB e CR em função do tempo de agitação e contato entre corantes e VMC.....	35
Figura 7 – Porcentagem de adsorção de IB e CR em função do aumento da massa do VMC	37
Figura 8 – Isoterma de adsorção, não linearizada, para a adsorção de CR por VMC mostrando característica de adsorção favorável.....	38
Figura 9 – Isoterma de adsorção, não linearizada, para a adsorção de IB por VMC mostrando característica de adsorção favorável.....	38
Figura 10 – Isoterma linearizada para a adsorção de CR por VMC empregando-se o Modelo Matemático de Langmuir	39
Figura 11 – Isoterma linearizada para a adsorção de IB por VMC empregando-se o Modelo Matemático de Langmuir	40

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS

ΔG : Variação da energia livre de Gibbs

AM: Azul de metileno

AN: Adsorventes naturais

CA: Coeficiente angular

CCS: Centro de Ciências da Saúde

C_{eq} : Concentração de equilíbrio no sobrenadante

C_L : Coeficiente linear

CMA: Capacidade máxima adsortiva

CR: *Congo red*

CV: Cristal de violeta

FAPES: Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado do Espírito Santo

FTIR: *Fourier Transform Infra-red Spectroscopy*

IB: *Indigo Blue*

Ifes: Instituto Federal do Espírito Santo

K: Kelvin

K_L : Constante de ligação, adsorção ou Constante de Langmuir

LMDA: Laboratório de Monitoramento e Descontaminação Ambiental

LUCCAR: Laboratório de Ultraestrutura Celular Carlos Alberto Redins

MEV: Microscopia eletrônica de varredura

PATCC: Projeto atual de TCC

PCJ: Pó da casca de juazeiro

R: Constante dos gases ideais

R_L : Constante adimensional

RPM: Rotações por minuto

T: Temperatura em Kelvin

TCC: Trabalho de Conclusão de Curso

UV/Vis: Espectroscopia no Ultravioleta e Visível

VMC: Vermicomposto

ZNOD: Zeólitos naturais modificados com óxido de N,N-dimetildesidroabietilamina

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. REFERÊNCIAL TEÓRICO	18
3.1. POLUIÇÃO QUÍMICA DO MEIO AMBIENTE AQUÁTICO	18
3.2. POLUIÇÃO QUÍMICA DO MEIO AMBIENTE AQUÁTICO COM CORANTES TÊXTEIS E OUTROS.....	19
3.3. IMPACTOS DOS CORANTES TÊXTEIS NO MEIO AMBIENTE AQUÁTICO, SAÚDE E TÉCNICAS DE REMOÇÃO	20
3.4. A ADSORÇÃO	21
3.4.1. A adsorção empregando adsorventes naturais na remoção de corantes têxteis em meio aquoso.....	23
3.4.2. A natureza do vermicomposto e sua capacidade adsortiva.....	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1. MATERIAIS.....	25
4.2. MÉTODOS	26
4.2.1. Preparo do VMC	26
4.2.2. Análise do VMC por MEV	26
4.2.3. Análise do VMC por FTIR	27
4.2.4. Influência do tempo de agitação e contato entre os corantes e o VMC na porcentagem de adsorção (%)	27
4.2.5. Influência da massa de VMC nas porcentagens de adsorção.....	28
4.2.6. Influência das concentrações dos corantes para obtenção das isotermas de adsorção não linearizadas e linearizadas. Cálculos de valores de CMA, K_L, R_L e ΔG para cada corante em relação ao VMC	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32

5.1. ANÁLISE DO VMC POR MEV	32
5.2. ANÁLISE DO VMC POR FTIR	33
5.3. INFLUÊNCIA DO TEMPO DE AGITAÇÃO E CONTATO ENTRE OS CORANTES E O VMC NA PORCENTAGEM DE ADSORÇÃO.....	35
5.4. INFLUÊNCIA DA MASSA DE VMC NAS PORCENTAGENS DE ADSORÇÃO	36
5.5. INFLUÊNCIA DAS CONCENTRAÇÕES DOS CORANTES PARA OBTENÇÃO DE ISOTERMAS DE ADSORÇÃO NÃO LINEARIZADAS	37
5.6 CONSTRUÇÃO DAS ISOTERMAS LINEARIZADAS PARA OBTENÇÃO DOS VALORES DE CMA , ΔG , K_L E R_L PARA CADA CORANTE EM RELAÇÃO AO VMC	39
6. CONCLUSÃO	43
7. SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS.....	44
REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

A adsorção de poluentes químicos empregando-se adsorventes naturais (AN) tem sido continuamente investigada (1,2). Kebaili e colaboradores (2018), por exemplo, empregaram resíduos de indústria de suco de laranja como um AN para descolorir água contendo o corante azul de metileno (AM) (3). Já outros pesquisadores (4), também trabalhando com água poluída, avaliaram o uso da raiz de angélica dahuriana como um possível AN e o trabalho apresentou bom resultado na remoção do corante AM presente na água. Em outra investigação (5), Ribeiro e colaboradores (2018), dedicaram-se ao estudo do pó de raiz de alcaçuz *Glycyrrhiza glabra* L. para remoção dos corantes *Congo Red* (CR) e *Indigo Blue* (IB) presentes em soluções aquosas. Os autores empregaram sistema de agitação e colunas. Os resultados em experimentos com agitação não foram tão expressivos. Entretanto, com coluna de vidro, os dados foram consideravelmente melhores. Em outro trabalho (6) investigou-se a remoção dos corantes reativo preto 5 e CR usando pó da casca de banana como um AN. Anteriormente, no Brasil, estudiosos realizaram diversos testes (7) com o bagaço de cana-de-açúcar triturado no tratamento de efluentes têxteis contaminados com CR e outros corantes de efluente real. Os resultados foram promissores no sentido de tornar o bagaço de cana-de-açúcar triturado mais uma alternativa para descolorir águas contaminadas com CR. Já Wang e colaboradores (2019), utilizaram um hidrogel oriundo de um composto verde à base de celulose e argila para tratamento de efluente orgânico colorido (8). O material modificado apresentou excelente adsorção para AM. Sem modificação química alguma e utilizando material natural bruto (9), Pereira e colaboradores (2009) avaliaram o vermicomposto (VMC) para retenção de corantes orgânicos carregados positivamente. Os resultados obtidos pelos autores foram significativos para a remoção dos corantes cristal de violeta e azul de metileno em meio aquoso.

O vermicomposto apresenta constituição físico-química estrutural complexa. A sua produção ocorre no sistema digestivo de certas espécies de minhocas que se alimentam de resíduos orgânicos presentes no solo. Os resíduos, ao chegarem ao sistema digestivo desses anelídeos, passam por um processo de fragmentação de biomoléculas, como polipeptídios, polissacarídeos e polinucleotídeos, que geram biomoléculas derivadas complexas e ricas em grupamentos químicos, como anéis

aromáticos, grupos carboxila, grupos hidroxilas, entre outros. Esse complexo material que retorna ao solo na forma de excremento é denominado vermicomposto. Essas e outras propriedades fazem do VMC um bom candidato a AN para a remoção de vários tipos de poluentes em água (10). Porém, apesar de existirem alguns trabalhos na literatura utilizando o material na remoção de metais pesados (10,11,12,13) são poucos os trabalhos encontrados utilizando o material na remoção de corantes. Desta forma, este trabalho de conclusão de curso avaliou a possível eficácia do adsorvente natural vermicomposto na descoloração de águas contendo os corantes têxteis CR e IB. Estes são poluentes tóxicos do ambiente aquático (14,15). O CR é um corante que, por potencializar mutações, representa um risco para o desenvolvimento de tumores em seres aquáticos (15), assim como o IB que também possui efeitos inibidores relacionados ao crescimento de espécies aquáticas quando em contato com o corante (16).

Para a execução deste trabalho, elaborou-se um projeto iniciado com o estudo das características físico-químicas do VMC. No primeiro passo foram realizados ensaios físico-químicos utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR; do inglês *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). O objetivo da técnica MEV foi revelar a característica física da superfície das partículas de VMC. Já a finalidade da FTIR foi investigar a presença de grupos químicos na mesma superfície. Superfícies irregulares, com reentrâncias e concavidades, além da presença de grupos químicos funcionais, são indicativos desejáveis para uma boa capacidade adsortiva de um AN. Em seguida foram realizados estudos para se avaliar a influência do tempo de contato e agitação entre corantes e VMC. O procedimento posterior estudou a influência da massa de VMC na porcentagem de adsorção de IB e CR. Após otimizações dos parâmetros tempo e massa, foi possível avaliar o impacto da concentração de CR e IB no processo adsortivo. Os dados obtidos desse último ensaio permitiram construir isotermas que proporcionaram o cálculo das capacidades máximas adsortivas (CMAs) do VMC em relação a IB (CMA_{IB}) e CR (CMA_{CR}). Os valores das CMAs possibilitaram o conhecimento das quantidades de poluentes, em miligrama, que podem ser retidas por grama do adsorvente. Além dos valores de CMA, foi possível obter também, empregando o Modelo Matemático de Langmuir, outros parâmetros como variações de Energia Livre de Gibbs (ΔG), constantes de ligação entre VMC e

cada corante (K_L), e constante adimensional (R_L). Esses parâmetros auxiliaram no entendimento do processo adsorptivo descrito (8,17).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o vermicomposto como possível adsorvente natural para a remoção dos corantes têxteis *Indigo Blue* e *Congo Red* presentes em meio aquoso.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliação física da superfície do VMC empregando MEV;
- Avaliação química da superfície do VMC através de FTIR;
- Avaliação da influência do tempo de contato entre os corantes e o VMC no processo adsorptivo;
- Avaliação da influência da massa do VMC no processo adsorptivo;
- Avaliação da influência da concentração de CR e IB no processo adsorptivo e construção de isotermas de adsorção para obtenção de valores de CMA, ΔG , K_L e R_L .

3. REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1. POLUIÇÃO QUÍMICA DO MEIO AMBIENTE AQUÁTICO

Milhares de poluentes químicos contaminam lagos, córregos, riachos, rios e oceanos em praticamente todas as partes do mundo (18). São raros os casos, como parte do Lago Nahuel Huapi, nas proximidades de Villa La Angostura, na Argentina, onde a água pode ser considerada praticamente potável e bebida diretamente do lago (19). Um caso contrário a esse, o que é bastante comum, é o que ocorre na Bacia Hidrográfica do córrego São Mateus nas proximidades de Juiz de Fora-MG, Brasil, onde a contaminação por metais pesados é alarmante (20).

Vários tipos de contaminantes químicos são detectados constantemente nos diferentes recursos hídricos (19). Esse fator tem sido tão preocupante que cientistas de inúmeros países se reúnem em conferências pelo mundo todo para debaterem sobre o assunto. Em 2020, a *15th International Conference on Monitoring, Modelling and Management of Water Pollution*, que ocorreu de forma virtual por conta da pandemia do novo coronavírus, debateu não só sobre as crescentes contaminações, mas também sobre a descontaminação de recursos hídricos já bastante impactados (21).

Dentre os poluentes químicos que mais se destacam estão: metais pesados, com seus efeitos danosos através de processos bioquímicos (22) e radioativos (23); pesticidas, com impactos na saúde pública e em todo ecossistema (24); hidrocarbonetos policíclicos aromáticos que, por sua vez, são mutagênicos, carcinogênicos e supressores do sistema imunológico (25); tricloroetileno, derivado de vários processos industriais e causador de doenças autoimunes (26); fármacos e seus metabólitos adicionados aos recursos hídricos por efluentes hospitalares, de postos de saúde e residenciais (27); e, finalmente, os corantes oriundos de diversos tipos de setores industriais, como indústria de cosméticos (28), de corantes para impressão de papéis (29), de tintas (30), de coloração de couros (31), de corantes alimentícios (32) e, principalmente, do setor têxtil (33).

3.2. POLUIÇÃO QUÍMICA DO MEIO AMBIENTE AQUÁTICO COM CORANTES TÊXTEIS E OUTROS

A indústria têxtil é responsável por grande quantidade de efluentes altamente poluidores, que contém elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos químicos tóxicos para o meio ambiente. Do ponto de vista ambiental, a etapa de tingimento é a mais preocupante, devido à variedade e complexidade dos produtos químicos empregados no processo e a grande quantidade de resíduos de corantes que não se ligam às fibras dos tecidos e são lançados no ambiente aquático (33,34). Muitos desses corantes são facilmente detectáveis a olho nu e pequenas quantidades lançadas através dos efluentes industriais podem causar acentuada mudança de cor nos rios (33). Em 2015 foi noticiada a contaminação por corante do Rio Gramame, em João Pessoa, Paraíba, que deixou a água com a coloração azul clara. A empresa do setor têxtil, instalada na região, foi multada em 440 mil reais e orientada a fazer a limpeza e tratamento do seu efluente (35). Já em Pernambuco a situação foi mais grave, nas cidades de Toritama e Santa Cruz, encontram-se dois importantes polos têxteis industriais, responsáveis por 14% da produção têxtil de todo o Brasil. Estima-se que, diariamente, quase mil litros de efluentes contendo corantes sejam lançados no Rio Capibaribe, que abastece pelo menos 42 cidades de Pernambuco (36). Além disso, alguns desses corantes tóxicos, liberados também no Capibaribe, podem ser adsorvidos pelo sedimento do rio, causando grande acúmulo no meio ambiente, como é o caso do corante Remazol Black B (37).

Interessante ressaltar que tais casos não se dão somente no Brasil (38). Países como Bangladesh (39,40), Índia (41) e China (42) são, em parte, negligentes quando se trata de poluição do meio ambiente aquático por corantes têxteis e outros contaminantes químicos presentes nesses efluentes. Não é incomum ver efluentes de indústrias têxteis a despejar resíduos de corantes nos recursos hídricos.

Apesar dos corantes têxteis serem os grandes vilões poluidores em várias partes do planeta, os descartes de corantes de outras fontes também são preocupantes (43,44). Em janeiro de 2020, em Santa Maria do Jetibá-ES, a população se assustou quando o Rio São Luiz apresentou uma coloração roxa intensa. O fato se deu por meio do descarte de corantes de tinta de papel, por parte de uma oficina mecânica que armazenava o material em tambores a serem reutilizados. Ao precisar do tambor, o

mecânico descartou o conteúdo no rio. A empresa que doou os tambores não se preocupou com o destino do seu conteúdo (43).

Marmitt e colaboradores (2009) estudaram o potencial poluidor de diversos corantes alimentícios que causam desequilíbrios ambientais (44). Apesar disso, os corantes têxteis são os que estão inseridos no grupo de poluentes químicos realmente capazes de causar danos ambientais e de saúde pública (45). Alguns, como o *Congo Red*, mesmo em pequenas quantidades podem ser determinados em águas naturais, utilizando-se o método espectrofotométrico, como foi feito por Sahraeia e colaboradores (2012) com amostras de água do Rio Ganjnameh, no Irã (46).

3.3. IMPACTOS DOS CORANTES TÊXTEIS NO MEIO AMBIENTE AQUÁTICO, SAÚDE E TÉCNICAS DE REMOÇÃO

A problemática ambiental associada ao efluente têxtil é bastante conhecida e facilmente detectada, já que a maioria desses compostos é visível mesmo em concentrações menores que 1 mg/L. Quando lançados nos corpos hídricos sem o tratamento adequado podem alterar a coloração das águas e diminuir a fotossíntese pela redução da penetração da luz (47).

A *Ecological and Toxicological Association of the Dyestuffs Manufacturing Industry* realizou estudos que mostraram que mais de 90% dos 4000 corantes testados apresentaram altos valores de toxicidade, vários corantes ácidos, básicos e diretos com grupamento azo, têm sido classificados como tóxico para peixes, crustáceos, algas e bactérias (48). O *Congo Red*, por exemplo, pode reduzir a sobrevivência e a fertilidade de algas *Ceriodaphnia dubia* em até 80, e, 70%, respectivamente, em comparação com o controle presente em água límpida (49). No organismo humano, o *Congo Red* pode sofrer alteração metabólica e se transformar em um composto cancerígeno, conhecido como benzidina. Este metabólito é conhecido por desencadear tumores na bexiga (50). Além disso, sugere-se que o *Congo Red* pode ser hepatotóxico, e ter afinidade por biomacromoléculas, causando desequilíbrio nas funções celulares (51).

Estudos também revelam que o corante *Indigo Blue*, um dos mais utilizados no tingimento de tecidos em todo o mundo, é danoso para o meio ambiente pois como é insolúvel em água, deve ser reduzido, e o processo industrial utiliza ditonito de sódio, que se decompõe em sulfato e sulfito e é diretamente despejado em rios, causando

impactos ecológicos negativos (52).

Estes fatores demonstram que são necessárias pesquisas que visem o desenvolvimento de metodologias eficientes na remoção desse e de outros poluentes da água. Em se tratando de clareamento de efluentes contendo corantes, os métodos de tratamento podem ser biológicos, químicos, físicos e/ou físico-químicos (53). Dentre os métodos biológicos, destacam-se a biorremediação, com o uso de fungos basidiomicetos e deuteromicetos empregados na biodegradação do *Congo Red* (54), e o emprego de algumas espécies de cianobactérias capazes de provocar a descoloração de alguns efluentes têxteis, incluindo os que contêm *Indigo Blue* (55). Dentre os métodos químicos mais estudados, aprimorados e aplicados encontra-se a ozonização, onde o gás ozônio provoca a descoloração de efluentes têxteis em grande escala (56). Deve-se ressaltar que a ozonização se encontra dentro de um grupo de técnicas conhecidas como processos oxidativos avançados. Neste grupo, podemos incluir, também, a fotoquímica geradora de espécies reativas de oxigênio que atacam e degradam os corantes (57), a eletroquímica (58), a eficiente Reação de Fenton, que a partir de peróxido de hidrogênio e Fe^{2+} leva à produção do radical hidroxila (OH^{\bullet}) que, por sua vez, ataca e destrói estruturas orgânicas, incluindo corantes têxteis (59); adicionalmente, tem-se a Reação de Fenton combinada à fotocatalise e TiO_2 para a descoloração de efluentes têxteis (60), bem como outros processos (53). Entretanto o emprego dessas técnicas apresenta elevado custo (56-59).

Além dos processos químicos e biológicos citados, podemos destacar também a adsorção, onde interações físicas ou físico-químicas podem ocorrer entre corante (adsorbato/poluento) e adsorvente, que pode ser sintético, semi-sintético ou natural. Sendo assim, o adsorvente funciona como um filtro, capaz de remover corantes têxteis presentes em meio aquoso (53).

3.4. A ADSORÇÃO

A adsorção é uma operação unitária que envolve o contato entre uma fase fluida, chamada de adsorbato, e uma sólida, conhecida como adsorvente. Este fenômeno de superfície está relacionado à tensão superficial das soluções, onde ocorre uma transferência de massa da fase fluida para a superfície do sólido, com uma tendência

de acumulação de uma substância sobre a superfície da outra, o que permite a separação dos componentes de um fluido. A adsorção é um fenômeno físico-químico de grande importância devido às múltiplas aplicações na indústria, podendo ser classificada quanto a sua intensidade de duas formas: adsorção física e adsorção química (61).

Na adsorção física, o adsorbato se liga ao adsorvente por uma interação relativamente fraca que pode ser atribuída às forças de Van der Waals. Já a química envolve a troca, ou compartilhamento, de elétrons entre as moléculas do adsorbato e a superfície do adsorvente, resultando em uma nova ligação química, desta forma, mais forte que a adsorção física. É importante ressaltar que os dois mecanismos não são completamente independentes, mas, a adsorção química é altamente específica e localizada, onde nem todas as superfícies sólidas possuem sítios ativos capazes de adsorver quimicamente o adsorbato. Logo, as moléculas adsorvidas quimicamente são só aquelas que se ligam ao sítio ativo, enquanto a adsorção física é inespecífica e não localizada, ocorrendo em toda a superfície do adsorvente (62). Essa última ocorre quando as forças intermoleculares de atração das moléculas na fase fluida e na superfície sólida são maiores que as forças atrativas entre as moléculas do próprio fluido (63).

O mecanismo de adsorção de um adsorbato em sólidos porosos pode ser descrito como o contato entre as moléculas do adsorbato e a superfície externa do adsorvente, onde haverá a adsorção nos sítios ativos da superfície externa, seguida da difusão das moléculas do adsorbato nos poros e, por fim, a adsorção das moléculas do adsorbato nos sítios disponíveis na superfície interna do adsorvente (64). Deste modo, a capacidade de adsorção de um líquido sobre um sólido depende de três fatores principais: a natureza do adsorvente, a natureza do adsorbato e as condições do processo (65).

A natureza físico-química do adsorvente é um fator determinante, pois a capacidade e a taxa de adsorção dependem da área superficial específica, porosidade, volume específico de poros, distribuição dos poros e presença de grupos químicos funcionais na superfície do adsorvente (66). Além disso, as naturezas químicas e físicas dos adsorbatos também afetam a eficiência da adsorção (67). Eficiência essa, que é medida pela capacidade máxima adsortiva do adsorvente em relação a um dado adsorbato. Nesse caso, deve-se levar em consideração que a eficiência da adsorção será afetada por variáveis como temperatura, pH do meio, velocidade de agitação,

tamanho das partículas do adsorbato e do adsorvente (granulometria), tempo de contato e agitação entre adsorvente e adsorbato, concentração do adsorbato, entre outros (61).

O carvão ativado é o adsorvente mais amplamente utilizado nas indústrias geradoras de efluentes contaminados com poluentes químicos. Esse adsorvente possui elevada capacidade máxima adsortiva para vários tipos de poluentes químicos. Entretanto, para alguns outros poluentes, sua capacidade máxima adsortiva é baixa, mas seu custo se mantém elevado (68), e o valor do quilo pode chegar a 94 reais (69). Sendo assim, vários estudos têm sido realizados no sentido de se empregar adsorventes naturais. Adsorventes esses de consideráveis eficiências adsortivas, elevada disponibilidade e baixo custo (70).

Em meio aquoso, diferentes adsorventes naturais têm sido amplamente estudados, com bons resultados para retenção de metais pesados (71,72), fármacos poluentes (73-75), pesticidas (76), hidrocarbonetos poluentes (77), e corantes têxteis (78-82).

3.4.1. A adsorção empregando adsorventes naturais na remoção de corantes têxteis em meio aquoso

Diversos adsorventes naturais brutos ou com alguma modificação química já foram investigados para uso, como componentes de filtros em estações de tratamento de água e em efluentes de indústrias têxteis (83-85). A casca de arroz foi amplamente estudada para a remoção de corantes poluentes em água (86). A casca de banana foi avaliada como agente removedor de corantes em efluentes têxteis (87). A serragem de *Pinus elliotii* (pinheiro) e adsorvente oriundo de *Drepanostachyum falcatum* (bambu) foram eficientes na remoção de azul de metileno em água (88). A lignina do bagaço de cana-de-açúcar modificada quimicamente apresentou-se eficiente na remoção do corante têxtil tóxico *Brilliant Red 2BE* em efluente têxtil (89). Já o resíduo de pó de café coletado de cafeteiras (90), quando utilizado para tratar azul de toluidina e cristal de violeta, apresentou resultados particularmente notáveis, com capacidades máximas adsortivas (CMA) de 142,5 mg/g e 125,0 mg/g. A CMA representa a quantidade máxima de corante, em mg, retida por grama do adsorvente. Em outro trabalho, na busca por um eficiente removedor dos corantes têxteis Nylosan Azul Brilhante e Azul Anil Op, foi verificado que a argila esmectita possui boa capacidade de clarear águas contendo ambos os corantes (91). Em um artigo

publicado na Revista de Estudos Ambientais Online, Antunes e colaboradores (2010) verificaram que a serragem de madeira foi eficiente na remoção do corante têxtil *Direct Green 26* em meio aquoso com uma CMA de 119,0 mg/g em meio sob agitação, e 78,8% em coluna (92). Em um trabalho empregando o resíduo de minhoca conhecido como vermicomposto na remoção de corantes têxteis, pesquisadores descobriram sua efetividade na remoção dos corantes cristal violeta e azul de metileno em água (9).

3.4.2. A natureza do vermicomposto e sua capacidade adsortiva

As minhocas se alimentam da matéria orgânica contida no solo, digerindo-a sob a forma de um produto conhecido como vermicomposto. Este é mais rico em nutrientes que o solo original, devido à adição de secreções intestinais e urinárias (93,94). O vermicomposto apresenta boa consistência, alta porosidade, boa drenagem, alta capacidade de retenção de água e nutrientes, e elevada fertilidade. Devido ao fato do vermicomposto apresentar um grande número de sítios contendo grupos químicos reativos como hidroxilas, carboxilas, carbonilas, grupos fenólicos, entre outros, ele é capaz de interagir com diferentes íons e moléculas, o que faz dele um excelente adsorvente natural (10).

Trabalhos utilizando vermicomposto obtendo excelentes resultados na adsorção de metais, principalmente metais pesados e outras moléculas poluentes são comuns na literatura (10,11,12,13). Entretanto, trabalhos sobre vermicomposto bruto sendo empregado na remoção de corantes têxteis em água são escassos (9). Já sua combinação com outro adsorvente, a dolomita carbonizada, foi relatada na literatura para clareamento de água contendo os corantes Violeta Básica 16 e Vermelho Reativo 195 (95).

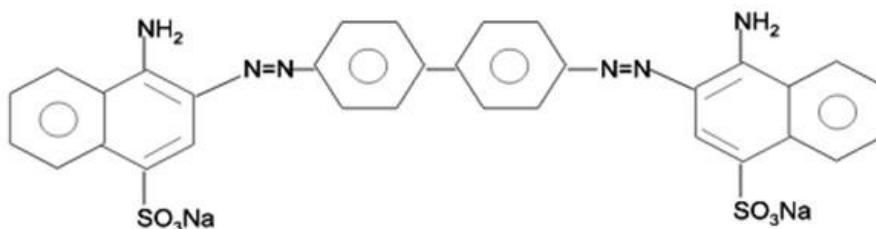
Assim sendo, neste trabalho de conclusão de curso, foi explorada a habilidade do adsorvente vermicomposto como possível removedor de corantes têxteis *Congo Red* e *Indigo Blue* de água contaminada.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS

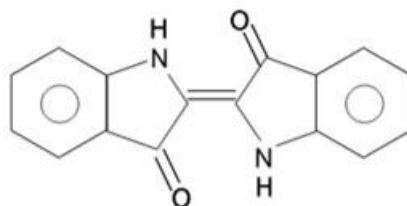
O VMC foi obtido da Suzan Humus (Loja Suzano-SP, Brasil, Produção: zona rural de Iguaraçu do Tietê-SP). O corante CR (Figura 1) foi adquirido da Vetec Company (Duque de Caxias-RJ, Brasil). O corante IB (Figura 2) foi adquirido da Tupy Industry (São Paulo-SP, Brasil). Foram utilizadas diversas vidrarias e materiais comuns de laboratório. Utilizou-se, também, os seguintes equipamentos: estufa de laboratório (modelo Quimis Q-317 B), peneiras granulométricas (Granutest), balança analítica (modelo Shimadzu AY 220), revestidor por pulverização (Shimadzu, modelo IC-50 Ion Coater), microscópio eletrônico de varredura (Shimadzu, modelo SSX 550), espectrofotômetro infravermelho (espectrômetro Cary 630 FTIR, EUA, Santa Clara, CA), peagâmetro (PHTEK), agitador magnético (Warmnest), espectrofotômetro UV-Vis (modelo EVEN). Para tratamentos dos dados utilizou-se o programa gráfico-estatístico Origin 6.1.

Figura 1 – Estrutura química do corante *Congo Red*.



Fonte: (4).

Figura 2 – Estrutura química do corante *Indigo Blue*.



Fonte: (4).

4.2. MÉTODOS

4.2.1. Preparo do VMC

O VMC foi espalhado em uma bandeja de alumínio e seco em estufa de laboratório à 60° C durante 24 horas. Em seguida, foi peneirado para obtenção de partículas de tamanhos entre 2,38 e 4,76 mm, e armazenado em recipientes hermeticamente fechados.

Figura 3 – Partículas de VMC com granulometria entre 2,38 e 4,76 mm.



Fonte: elaborado pelas autoras (2020).

4.2.2. Análise do VMC por MEV

A análise das características físicas das partículas do VMC foi realizada com o objetivo de se verificar a natureza porosa do material, importante em um processo adsortivo. Para esse fim, empregou-se um microscópio eletrônico de varredura, MEV. Antes da análise, uma pequeníssima quantidade de partículas do VMC foi revestida por uma fina camada de ouro usando um *spray*. Posteriormente, a superfície desta amostra foi visualizada no microscópio utilizando-se feixe de elétrons na medida de 20 kV.

4.2.3. Análise do VMC por FTIR

Após secagem por 24 h de uma pequena quantidade de pó, análises por FTIR foram realizadas para se averiguar a presença de grupamentos químicos no VMC, que pudessem ser importantes na interação com os corantes em meio aquoso. O intervalo visualizado abrangeu de 4000 a 600 cm^{-1} . Para isso, uma pequena amostra de partículas de VMC foi introduzida no acessório de refletância difusa para a análise de acordo com o descrito por Ribeiro *et al.*, (2019) (17).

4.2.4. Influência do tempo de agitação e contato entre os corantes e o VMC na porcentagem de adsorção (%)

Volumes de 50 mL de soluções aquosas contendo 40,0 mg/L de CR ou 1000 mg/L IB foram preparadas em pH 7,0. Essas soluções foram agitadas em agitador magnético a 1000 rpm e 298,15 K, em diferentes tempos (5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos), na presença de 3,0 g de VMC. Em seguida, tais soluções foram filtradas a vácuo. As absorbâncias dos sobrenadantes, contendo CR ou IB não adsorvidos pelo VMC foram analisadas em espectrofotômetro UV-Vis ($\lambda_{\text{máx, IB}} = 573 \text{ nm}$ e $\lambda_{\text{máx, CR}} = 500 \text{ nm}$) para avaliar a quantidade de CR e IB retida no VMC. O objetivo deste teste foi determinar o tempo de agitação entre os corantes e o VMC, onde ocorresse a maior porcentagem de adsorção. Esse experimento foi realizado de acordo com Ribeiro e colaboradores (2018) (5). Os ensaios foram realizados em triplicata. Neles, as concentrações dos corantes no sobrenadante, ou seja, não retidas no VMC, foram obtidas por meio do emprego das curvas padrão relativas a cada corante. Após o conhecimento de tais concentrações, as porcentagens dos corantes adsorvidas no VMC, em diferentes tempos de agitação, foram obtidas através dos seguintes cálculos:

$$C_{CA} = C_{IC} - C_{CS} \quad (\text{equação 1})$$

$$\%C_{AVMC} = \frac{100C_{CA}}{C_{IC}} \quad (\text{equação 2})$$

Onde, na equação 1, C_{CA} é a concentração de corante adsorvida em 3,0 g de massa do VMC após agitação e filtração, C_{IC} é a concentração inicial de corante (40,0 mg/L de CR ou 1000 mg/L de IB) antes do tempo de agitação e filtração, e, C_{CS} é a

concentração de corante, em mg/L, no sobrenadante após a filtração (C_{CS} é obtido através da curva padrão de cada corante). Na equação 2, $\%C_{AVMC}$ é a porcentagem de corante adsorvida no VMC em cada tempo de agitação.

Por meio da equação 1 foi possível obter o valor de C_{CA} (mg/L). Finalmente, utilizando do valor de C_{CA} foi possível trabalhar com a equação 2. Os dados obtidos foram inseridos no Programa Gráfico Origin 6.1, que possibilitou a obtenção de um gráfico da $\%C_{AVMC}$ em função do tempo de agitação.

4.2.5. Influência da massa de VMC nas porcentagens de adsorção

Neste procedimento, realizado em triplicata, avaliou-se a influência da massa de VMC no processo adsorptivo. Para isso, soluções aquosas de 50 mL, em pH 7,0, contendo 1000 mg/L de IB ou 40,0 mg/L de CR foram agitadas a 1000 rpm e 298,15 K, durante 10 minutos para IB e 25 minutos para CR, tempos definidos no item 4.2.4, na presença de diferentes massas de VMC: 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; e 6,0 g. Posteriormente, as soluções foram filtradas a vácuo e os demais procedimentos realizados como na etapa anterior.

Para os devidos cálculos de porcentagem de adsorção dos corantes no VMC foram empregadas as equações 1 e 2. A partir dos cálculos foi possível obter um gráfico da porcentagem de adsorção de cada corante em função do aumento da massa de VMC.

4.2.6. Influência das concentrações dos corantes para obtenção das isotermas de adsorção não linearizadas e linearizadas. Cálculos de valores de CMA , K_L , R_L e ΔG para cada corante em relação ao VMC

Após otimização dos parâmetros tempo de agitação e massa de adsorvente, foram realizados ensaios para se verificar a influência das concentrações dos corantes no processo adsorptivo. Isso permitiu a realização de cálculos matemáticos para obtenção das CMAs do VMC para CR, CMA_{CR} , e IB, CMA_{IB} . Os cálculos foram realizados empregando-se as equações das retas, determinadas pelas isotermas de adsorção linearizadas, obtidas a partir das isotermas não linearizadas. Para isso, utilizou-se os parâmetros de tempo e massa, otimizados nos itens 4.2.4 e 4.2.5, soluções aquosas de 50 mL em pH 7 contendo concentrações crescentes de IB (50 a 4.000 mg/L) e CR

(50 a 500 mg/L). Tais soluções foram agitadas magneticamente, a 1000 rpm e 298,15 K, em presença de dada massa de VMC.

Posteriormente, as soluções foram filtradas a vácuo para retenção do VMC contendo IB ou CR. Utilizando-se os sobrenadantes, a espectrofotometria UV-Vis e as curvas padrão, obtiveram-se os valores de C_{CS} ($C_{CS}=C_{eq}$, onde C_{eq} é a concentração de equilíbrio) para CR e IB de acordo com a equação 1. Para se determinar os valores de CMA, foram necessários obter, primeiramente, as isotermas não linearizadas de q (mg/g) em função de C_{eq} (mg/L), onde q representa a quantidade de corante adsorvida por grama de VMC, e, C_{eq} representa a concentração de equilíbrio do corante (mg/L) no sobrenadante. Os valores de q foram obtidos através das equações 3 e 4:

$$mr = mi - ms \quad (\text{equação 3})$$

$$q = \frac{mr}{M} \quad (\text{equação 4})$$

Onde, mr (mg) representa as massas pontuais de cada corante retidas no VMC, mi as massas iniciais dos corantes, ms as massas de corante no sobrenadante, e M (g) representa as massas do VMC otimizadas no item 4.2.5.

Os valores de mr foram determinados subtraindo-se das massas iniciais, mi , de corantes contidas em 50 mL de solução, dos valores das massas contidas no sobrenadante, ms .

Enfim, depois de construídos os gráficos, pôde-se afirmar que as isotermas não linearizadas podem ser descritas através da equação 5:

$$q = K_L \cdot CMA \cdot C_{eq} (1 + K_L \cdot C_{eq})^{-1} \quad (\text{equação 5})$$

Onde, q é a quantidade de corante adsorvido no vermicomposto (mg/g); K_L é uma constante relacionada à adsorção ou energia de ligação, denominada Constante de Langmuir (L/mg), entre o VCM e cada corante; CMA é o valor máximo da capacidade de adsorção de cada corante, em mg por grama de VMC; e C_{eq} é a concentração de equilíbrio dos corantes nos sobrenadantes (mg/L).

Após linearização dos gráficos relacionados à equação 5, foi possível obter a equação 7, descrita por gráficos de C_{eq}/q (y) em função de C_{eq} (x). A linearização exigiu o uso da equação 6:

$$\frac{C_{eq}}{q} \quad (\text{equação 6})$$

$$\frac{C_{eq}}{q} = (K_L \cdot CMA)^{-1} + (CMA)^{-1} \cdot C_{eq} \quad (\text{equação 7})$$

A equação 7 revelou, para cada corante, os valores dos coeficientes lineares (C_L), onde $C_L = (K_L \cdot CMA)^{-1}$, e angulares (C_A), onde $C_A = (CMA)^{-1}$. Adicionalmente, a partir das equações geradas pelos gráficos linearizados (Figuras 7 e 8), os inversos dos valores de C_A , obtidos na equação 8, permitiram calcular os valores de CMA para CR e IB em mg/g. Em seguida, por meio da equação 9, foi possível obter os valores de K_L :

$$CMA = \frac{1}{C_A} \quad (\text{equação 8})$$

$$K_L = \frac{1}{C_L \cdot CMA} \quad (\text{equação 9})$$

Finalmente, a partir dos valores de K_L foi possível obter os valores R_L e de ΔG através das equações 10 e 11:

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L \cdot C_i} \quad (\text{equação 10})$$

$$\Delta G = -RT \ln K_L \quad (\text{equação 11})$$

Onde, na equação 10, R_L é a constante adimensional, K_L é a constante de Langmuir e C_i é concentração inicial mais alta de CR ou IB. A equação 10 permite a obtenção de valores da constante adimensional, R_L . Se tais valores ficarem entre 0 e 1 ($0 < R_L < 1$), a adsorção é realmente confirmada como favorável.

Já na equação 11, pôde-se obter valores de ΔG no processo adsorptivo de cada corante em relação ao VMC. Em tal equação, R é a constante do gases ideais (-

8,314472 J/mol.K), T é a temperatura em Kelvin e K_L é a constante de Langmuir, em unidades de L/mol.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. ANÁLISE DO VMC POR MEV

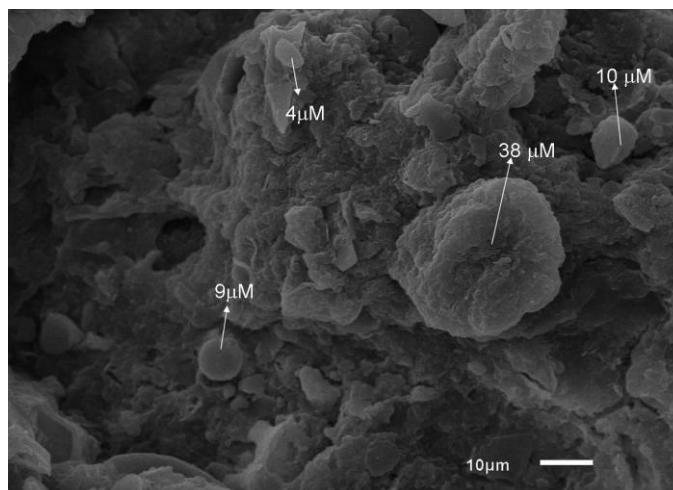
Observando-se atentamente a Figura 4, obtida através do microscópio eletrônico de varredura, MEV, com aumento de 1000x, fica evidente que as superfícies das partículas de VMC possuem características heterogêneas. As subdivisões apresentam variados tamanhos, onde é possível encontrar fragmentos que variam de tamanhos menores que 4 μm até aproximadamente 38 μm . Esta natureza física de heterogeneidade contrapõe-se ao Modelo Matemático de Langmuir, aplicado neste trabalho, para se avaliar a eficiência adsorptiva do VMC para CR e IB. Tal modelo foi construído com base em materiais adsorventes que dispõem de superfície com monocamadas homogêneas e que apresentam sítios adsorptivos com diâmetros e profundidades semelhantes. Em tal modelo, cada sítio pode acomodar apenas uma molécula de adsorbato (97).

Entretanto, alguns autores, trabalhando com ANs que apresentam superfícies com características físicas heterogêneas, verificaram boa adequação do Modelo Matemático de Langmuir com a obtenção de valores expressivos de CMA (9, 5, 11, 17, 12, 13). Inclusive, desses estudos, quatro empregaram o próprio VMC como AN para remoção de poluentes em meio aquoso (9, 11, 12, 13). Dois deles para chumbo (Pb^{2+}) (90, 97), um para cádmio (Cd^{2+}) (13) e outro para os corantes catiônicos cristal violeta e azul de metileno (9). Os outros trabalharam com pó de alçaçuz (5) e pó da casca de juazeiro (17), com obtenção de bons resultados na remoção de corantes em água.

Adicionalmente, deve-se ressaltar que a imagem apresentada na Figura 4 assemelha-se às imagens obtidas, através da mesma técnica, em dois outros trabalhos (9, 13). Ou seja, os três apresentam partículas de VMC com superfície irregular e heterogênea, com destaque para concavidades e reentrâncias. Essa característica física tem aparecido em trabalhos com resultados satisfatórios para remoção de poluentes em água (9, 5, 11, 17, 12, 13, 96). Entretanto, deve-se salientar que nem sempre a superfície irregular, muito importante na adsorção física, é indispensável para uma boa adsorção. Bons resultados podem ser alcançados com adsorventes que apresentam superfícies mais homogêneas, onde as interações químicas

apresentam-se mais importantes para a remoção do poluente do que as interações físicas. Tais interações não necessariamente dependem de superfícies irregulares, ou seja, de maior superfície de contato (97).

Figura 4 – Partículas de VMC em MEV, escala 10 μ m.



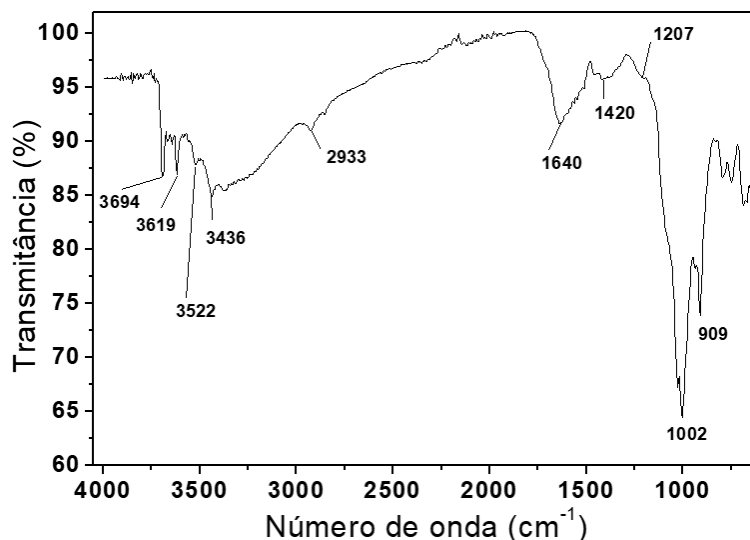
Fonte: elaborado pelas autoras (2020).

5.2. ANÁLISE DO VMC POR FTIR

O espectro no infravermelho do VMC pode apresentar algumas variações devido a alguns parâmetros, como pH do meio, presença de silicatos (12,98), presença de metais e outros ligantes (98, 99), tipos de solo de diferentes fontes, como solo do meio urbano, de área industrializada, área rural, etc (99, 100). No caso do VMC utilizado nesse trabalho, sua origem é rural, produzido em Suzano-SP.

Os resultados apresentados por outros autores, no que diz respeito ao espectro obtido pela técnica de FTIR, diferem um pouco do obtido neste trabalho no que se refere às posições das bandas espectrais (9, 12, 98, 101). Entretanto, os grupos químicos presentes são relativamente os mesmos. Uma boa comparação pode ser feita com Pereira e colaboradores (2009), que trabalharam com mistura de diferentes fontes de VMC de floriculturas de Salvador-BA (9).

Figura 5 – Espectro de FTIR para VMC.



Fonte: elaborado pelas autoras (2020).

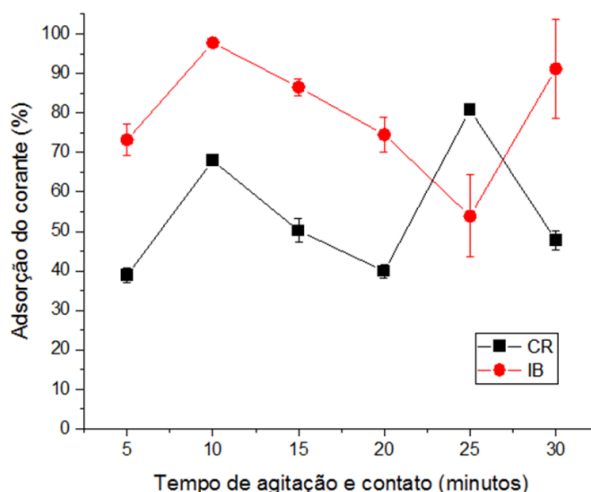
Na Figura 5, que apresenta o FTIR desse trabalho, pôde-se verificar a presença de algumas bandas específicas de grupos químicos. Por exemplo, as bandas de transmitância a 3694 cm^{-1} e 3619 cm^{-1} estão associadas às vibrações da ligação no grupo N-H assimétrico e simétrico (11, 102). É possível que tal grupo do VMC possa fazer ligações de hidrogênio com grupos N-H e -C=O do corante IB (Figura 2) e com -NH_2 do CR (Figura 1). Outra banda também foi visível entre 3522 cm^{-1} e 3436 cm^{-1} . Bandas aproximadas a essa ($3500\text{-}3000$) no VMC podem estar associadas ao alongamento do grupo O-H de moléculas de água adsorvidas no VMC, ou de grupos O-H ligados a grupos -COOH (carboxila), Ø-OH (fenóis) e R-OH (álcoois) presentes em moléculas orgânicas constituintes do VMC (13, 103). Tais grupos, com a presença de O-H, também podem induzir a ligações de H com os poluentes estudados neste trabalho. Adicionalmente, a fraca absorção em 2933 cm^{-1} pode estar relacionada ao alongamento alifático da ligação C-H, indicando a ausência de grandes quantidades de grupos CH_2 e CH_3 (13,103). Sugere-se também, que as interações aromáticas podem ocorrer entre grupos aromáticos presentes no VMC e os anéis presentes nos poluentes (Figura 1 e 2). Já a absorção entre $1750\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$ (1640 cm^{-1}) foi associada a faixas de alongamento de C-O e C=O, atribuídas aos grupos COOH ou C-H do grupo alceno (102,103). A banda na região de 1400 cm^{-1} devida à deformação de OH e estiramento de C-O dos grupos fenólicos OH e à deformação de C-H dos grupos CH_2 e CH_3 . (102,103). A banda larga e fraca a 1200 cm^{-1} é atribuída ao

alongamento C-O e à deformação OH do COOH. As bandas fortes a 1002 cm^{-1} e 909 cm^{-1} estão associadas ao alongamento C-H do grupo alceno (102). Essas observações propõem que o VMC possui grupos químicos (104) capazes de interagir com os corantes CR e IB.

5.3. INFLUÊNCIA DO TEMPO DE AGITAÇÃO E CONTATO ENTRE OS CORANTES E O VMC NA PORCENTAGEM DE ADSORÇÃO

A Figura 6 apresenta resultados de porcentagem (%) de adsorção de CR e IB em função do tempo de agitação (1000 rpm com massa fixa de VMC). Os experimentos dessa fase foram realizados em triplicata. O que se destacou foi o tempo 25 minutos onde, somente ali, ocorreu maior porcentagem de adsorção de CR em relação a IB. Nos demais tempos as adsorções foram maiores para IB. Além disso, não há um comportamento de equilíbrio, pois, tanto no caso de IB quanto de CR, a adsorção aumenta até os 10 minutos, para em seguida apresentar queda com repentino aumento para CR aos 25 minutos e para IB aos 30 minutos. Estas idas e vindas (sorção de desorção), no processo adsorptivo, podem representar interações fracas entre os corantes e o VCM (107). Adsorção e desorção, também puderam ser observadas por outros autores estudando soluções aquosas de IB em contato com o pó da casca de juazeiro. Finalmente, os tempos selecionados para as etapas posteriores deste trabalho foram de 25 minutos para CR e 10 minutos para IB.

Figura 6 – Porcentagem de adsorção de IB e CR em função do tempo de agitação e contato entre corantes e VMC.



Fonte: elaborado pelas autoras (2020).

5.4. INFLUÊNCIA DA MASSA DE VMC NAS PORCENTAGENS DE ADSORÇÃO

Nesta etapa tendemos a imaginar que quanto mais se aumenta a massa do adsorvente, mais sítios adsorptivos estarão disponíveis para a adsorção do adsorbato. Então isso ocorreria até que se chegasse a uma massa necessária para retirar totalmente o corante da água. Entretanto, levando-se em consideração que as interações entre adsorvente e adsorbato são de natureza física e química, é de se esperar que, na realidade, o processo adsorptivo atinja um equilíbrio.

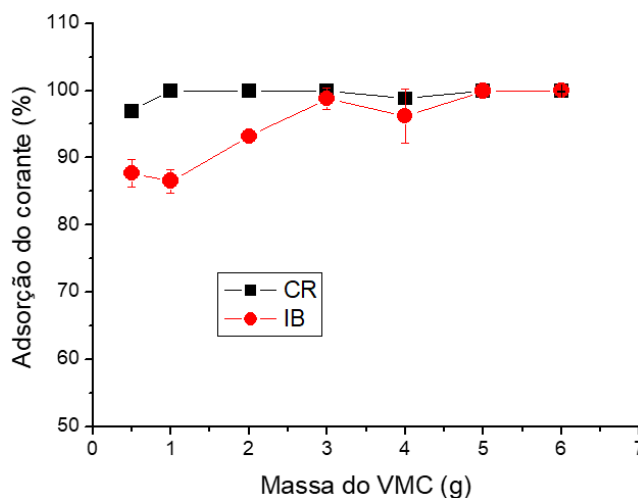
Etim e colaboradores (2016) em sua pesquisa utilizando um adsorvente modificado com amina para remoção de íons de cobre e cádmio revelaram que um aumento na massa do adsorvente ocasiona, também, aumento na porcentagem de adsorção do adsorbato até que um equilíbrio seja atingido. O mesmo foi observado por Ribeiro e colaboradores (2018) ao pesquisar sobre o potencial do bagaço de cana na remoção de corantes têxtil. Esses trabalhos, entre outros, deram destaque a poluentes orgânicos, principalmente corantes, adsorvidos por adsorventes naturais em meio aquoso (5, 96, 106, 107). No que diz respeito à variável massa, os resultados desses trabalhos são condizentes com os obtidos durante este estudo (Figura 7).

Quanto ao corante CR, percebe-se que um aumento na massa de VMC ocasiona um discreto aumento na porcentagem de adsorção do corante no intervalo entre 0,5 e 1,0 g do adsorvente. A partir de 1,0 g de VMC a porcentagem de adsorção de CR permanece constante.

Já em relação ao IB, há um aumento da porcentagem de adsorção com o aumento da massa a partir de 1 g de adsorvente, e o equilíbrio na porcentagem de adsorção foi atingido com 3,0 g de VMC, permanecendo assim até o fim do experimento.

Sendo assim, decidiu-se que as massas de vermicomposto para CR e IB a serem empregadas nos ensaios posteriores seriam 1,0 g e 3,0 g, respectivamente.

Figura 7 – Porcentagem de adsorção de IB e CR em função do aumento da massa do VMC.



Fonte: elaborado pelas autoras (2020).

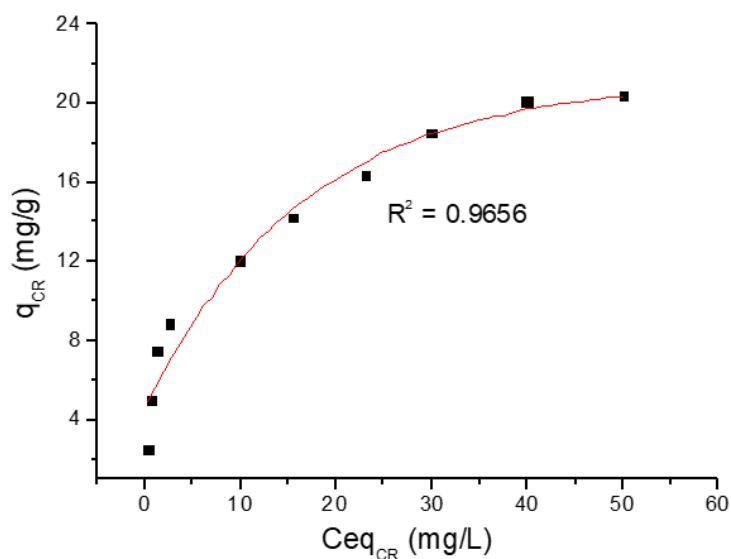
5.5. INFLUÊNCIA DAS CONCENTRAÇÕES DOS CORANTES PARA OBTENÇÃO DE ISOTERMAS DE ADSORÇÃO NÃO LINEARIZADAS

As isotermas de adsorção não lineares para CR (Figura 8) e IB (Figura 9) foram construídas após os experimentos que avaliaram a influência do aumento das concentrações dos corantes no processo adsorptivo. Para isso foram necessárias obtenção de valores C_{eq} , através da espectrofotometria UV/Vis (eixo y) e aplicações das equações 3 e 4 para obtenção de valores de q (eixo x). As isotermas foram então descritas pela equação 5 e apresentaram aspectos de adsorções relativamente favoráveis, com $R^2=0,9656$ para CR e $R^2=0,96376$ para IB. Esses valores estão bem acima de $R^2=0,8200$, encontrado por Shinzato e colaboradores (2009) para a adsorção de cromo por zeólitas naturais oriundas da bacia sedimentar do Rio Paraná. No trabalho, os autores consideraram baixa a correlação (R^2) dos dados de q (mg/g) em função de C_{eq} (mg/L) (108). Entretanto, no presente trabalho, deve-se ponderar que o traçado da curva nas figuras das isotermas não lineares (Figuras 9 e 10) fornecem apenas uma indicação de característica favorável do processo adsorptivo (109). A confirmação de processos favoráveis ou não, é verificada através dos valores da constante adimensional (R_L) obtidas na equação (10).

Adicionalmente, em uma breve comparação entre as isotermas não lineares obtidas neste e em outro estudo também empregando VMC (9), nota-se certa semelhança. Entretanto, o trabalho anterior de Pereira e colaboradores (2009), que envolveu a

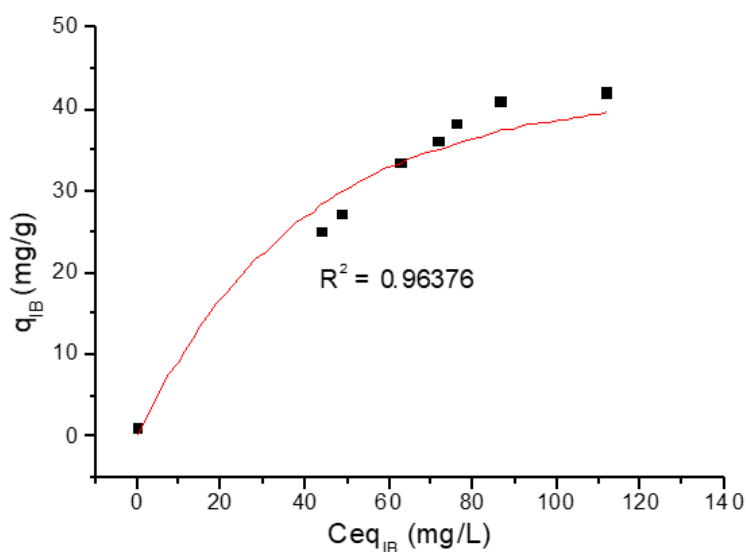
adsorção dos corantes cristal violeta e azul de metileno, proporcionou isotermas mais favoráveis que as obtidas no presente trabalho (9). Mesmo assim, as isotermas não lineares favoráveis, apresentadas a seguir, podem ser consideradas satisfatórias quando comparadas a outras obtidas para corantes CR e IB na presença de diferentes adsorventes naturais (5,7,17,106).

Figura 8 – Isoterma de adsorção, não linearizada, para a adsorção de CR por VMC mostrando característica de adsorção favorável.



Fonte: elaborado pelas autoras (2020).

Figura 9 – Isoterma de adsorção, não linearizada, para a adsorção de IB por VMC mostrando característica de adsorção favorável.



Fonte: elaborado pelas autoras (2020).

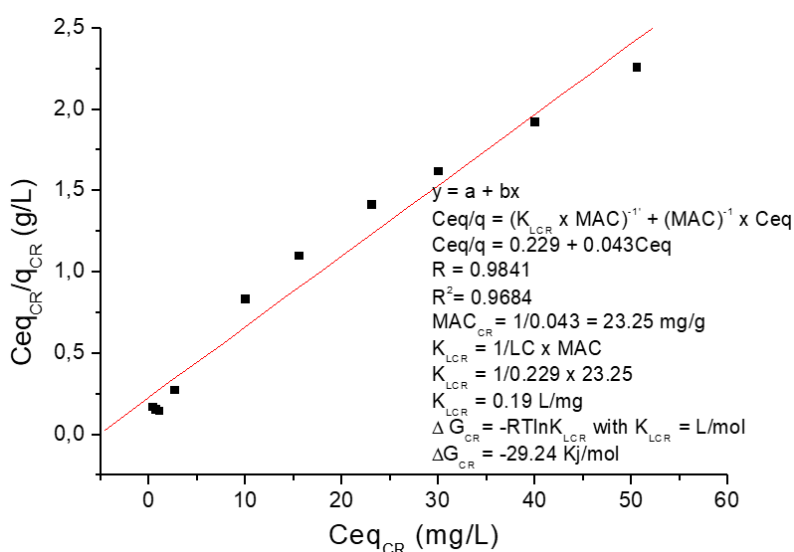
5.6 CONSTRUÇÃO DAS ISOTERMAS LINEARIZADAS PARA OBTENÇÃO DOS VALORES DE CMA, ΔG , K_L E R_L PARA CADA CORANTE EM RELAÇÃO AO VMC

Finalmente, utilizando-se a equação 6, descrita anteriormente, foram possíveis as linearizações dos gráficos mostrados no item 5.5. Esses novos gráficos, agora linearizados (Figuras 10 e 11), são na verdade, o resultado dos valores de C_{eq}/q (eixo y) (g/L) em função de valores de C_{eq} (eixo x) (mg/L), onde q é obtido por meio da equação 4 e C_{eq} é obtido pela curva padrão para cada corante empregando-se a técnica de espectrofotometria no UV/Vis. Os dois gráficos linearizados possuem bons coeficientes de correlação linear, com valores apresentados nas respectivas figuras.

Admitindo-se que a equação 7 é $y=a+bx$, onde y é C_{eq}/q ; a é o coeficiente linear $C_L=(K_L.CMA)^{-1}$; b é o coeficiente angular $C_A=(CMA)^{-1}$; e x é C_{eq} , o gráfico linearizado para a adsorção de CR por VMC (Figura 10) apresenta a seguinte equação: $y=0,22900+0,04300x$.

Logo, temos que $b (C_A)=(CMA)^{-1}$ leva a $CMA_{CR}=1/b$, implicando em $CMA=1/C_A=1/0,04300=23,25$ mg/g. Tal valor representa, então, a capacidade máxima adsorptiva do VMC em relação a CR. Ou seja, cada grama de VMC consegue adsorver, no máximo, 23,25 mg de CR nas condições estudadas.

Figura 10 – Isoterma linearizada para a adsorção de CR por VMC empregando-se o Modelo Matemático de Langmuir.

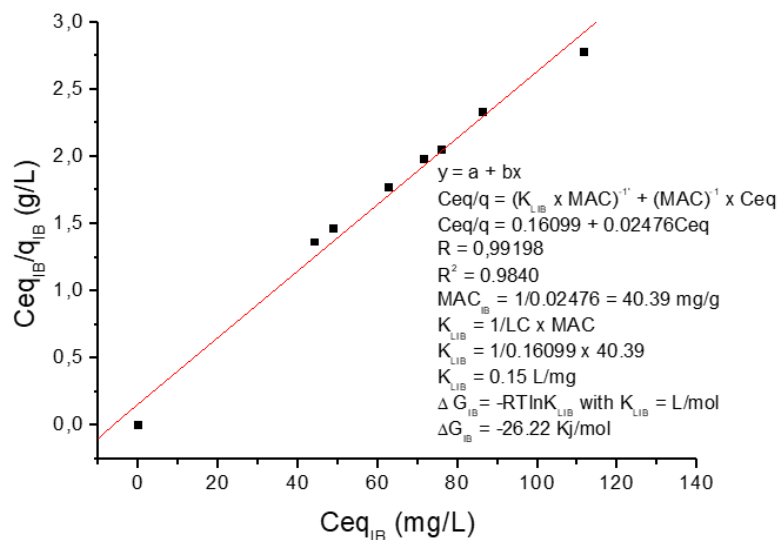


Fonte: elaborado pelas autoras (2020).

Repetindo-se o mesmo procedimento para VCM em relação a IB (Figura 11), temos $y=0,16099+0,02476x$. Portanto, $CMA_{IB}=1/b$, implica em $CMA=1/C_A=1/0,02476= 40,39$ mg/g.

O fato desses valores de CMA terem sido calculados utilizando-se o Modelo Matemático de Langmuir pode dar espaço à argumentação de que ele tenha sido empregado de forma errônea. Isso porque sua utilização foi pensada para sistemas homogêneos ideais sólido-gás entre adsorvente e adsorbato. Nesses sistemas ocorrem interações homogêneas entre adsorbato e adsorvente, onde o primeiro interage com o adsorvente na forma de monocamadas, em que poros e grupos químicos são de mesma natureza (110). Entretanto, na prática, muitos autores têm empregado esse modelo para adsorventes naturais com bons resultados, o que é possível quando os valores experimentais tem um bom ajuste ao modelo (111,112) e nesse trabalho também foi possível observar uma boa adequação dos valores experimentais ao modelo.

Figura 11 – Isoterma linearizada para a adsorção de IB por VMC empregando-se o Modelo Matemático de Langmuir.



Fonte: elaborado pelas autoras (2020).

Ao se comparar os valores das capacidades máximas adsortivas, percebe-se que $CMA_{IB} > CMA_{CR}$. Isto demonstra que, nas condições empregadas na metodologia desse trabalho, 1,0 g de VMC consegue remover uma quantidade maior de IB do que

CR. O que leva a especular que as interações químicas e/ou físicas entre IB e VMC podem ser mais favoráveis do que CR e VMC (9).

Comparando-se alguns valores de CMA, obtidos nesse trabalho, com os obtidos por outros autores, apresentados na Tabela 1, percebe-se que CMA_{CR} e CMA_{IB} podem ser considerados bastante satisfatórias. Dois valores destacam-se por serem maiores do que os obtidos nesse trabalho: um deles empregou o pó da casca de juazeiro (PCJ) para remoção de IB em água (17) e o outro que empregou zeólitas naturais modificadas com óxido de N,N-dimetildesidroabietilamina (ZNOD) para a remoção de CR (113). Pode-se sugerir, nesses casos, que pode haver melhores interações físicas e/ou químicas entre IB e CR com os adsorventes usados nesses dois trabalhos do que com o vermicomposto. Entretanto, os resultados obtidos com VMC foram significativos.

Tabela 1 – Valores de CMA para IB e CR para o VMC desse trabalho (PATCC) comparados a valores de CMA dos mesmos corantes em relação a outros NA.

Adsorvente	Corante	CMA (mg/g)	Ref.
Vermicomposto	CR	23,25	PATCC
Vermicomposto	IB	40,39	PATCC
Pó de serragem de eucalipto	CR	0,593	108
Pó da casca de juazeiro	IB	50,00	17
Bagaço da cana-de-açúcar	CR	4,430	7
Pó da raiz de alcaçuz	CR	0,768	5
Pó da raiz de alcaçuz	IB	1,696	5
Resíduo de lama vermelha	CR	4,050	114
Zeólitas naturais modificados com óxido de N,N-dimetildesidroabietilamina	CR	69,94	110
Kaolin	CR	5,940	116

Fonte: elaborado pelas autoras (2020).

Empregando-se a equação 9, pôde-se obter os valores de K_L para CR e para IB cujos resultados são, respectivamente, 0,19 L/mg e 0,15 L/mg. Esses valores representam a capacidade teórica na monocamada do adsorvente, e são considerados valores satisfatórios que indicam boa interação entre adsorvente e adsorbatos (118,114).

A obtenção dos valores de K_L permitiu, a partir da equação 10, a obtenção dos valores de R_L para CR (0,010) e para IB (0,002). Tais valores, que estão entre 0 e 1,

confirmam que os processos adsorptivos entre os corantes e o VMC são favoráveis (108,114). Nesse caso, vale a pena ressaltar que $R_L > 1$ indica que o processo de adsorção não é favorável. Já R_L igual a 1 indica que é linear, e finalmente, quando R_L é 0, o processo adsorptivo é irreversível (114).

Por fim, ao se transformar a unidade K_L de L/mg para L/mol foi possível, pela equação 11, obter os valores de ΔG para as interações entre os corantes e o VMC. Tais interações revelaram valores de $\Delta G = -29,24$ kJ/mol e $\Delta G = -26,22$ kJ/mol para CR e IB, respectivamente. Esses valores negativos demonstram que os processos de interação entre os corantes e VMC são espontâneos e favoráveis (115). Além disso, para processos adsorptivos, os valores negativos de ΔG costumam variar entre -20 - 200 kJ/mol. Quanto mais perto do menor valor, mais a fisissorção impera sobre a quimissorção (116). Isto leva a crer que as interações físicas de IB e CR com a superfície irregular de VMC (Figura 4) imperam sobre as interações químicas. Entretanto, isso não quer dizer que as interações químicas também não ocorram (115).

A Tabela 2 apresenta o resumo dos parâmetros analíticos e físico-químicos obtidos nesse trabalho.

Tabela 2 – Parâmetros analíticos e físico-químicos obtidos nesse trabalho.

Corante	CMA (mg/g)	K_L (L/mg)	R_L	ΔG (kJ/mol)
CR	23,25	0,19	0,010	-29,24
IB	40,39	0,15	0,002	-26,22

Fonte: elaborado pelas autoras (2020).

6. CONCLUSÃO

- Os valores obtidos em laboratório para o corante IB foram de 40,39 mg/g de CMA, 0,15 para K_L , 0,002 como R_L e -26,22 kJ/mol de ΔG . Enquanto para o corante CR, o valor de CMA foi de 23,25 mg/g, K_L 0,19, R_L 0,010 e ΔG de -29,24 kJ/mol.
- Os valores desses parâmetros físico-químicos, quando comparados aos valores obtidos em trabalhos descritos na literatura, podem ser considerados satisfatórios. Ou seja, o VMC pode ser utilizado como uma alternativa à remoção de IB e CR presentes em efluentes industriais.

7. SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS

A fim de dar continuidade aos estudos seguem sugestões de possibilidades de trabalhos:

- Realizar testes utilizando o VMC em efluentes têxteis reais, além de verificar a sua viabilidade como material adsorvente de outros corantes.
- Estudar a recuperação do material adsorvente impregnado com IB e CR para saber se é possível sua reutilização.
- Estudar alternativas além da incineração utilizada por Pereira e colaboradores (2009) como destino final para o VMC impregnado com corante.
- Montar e otimizar um sistema de adsorção utilizando o VMC como material adsorvente a nível laboratorial.

8. REFERÊNCIAS

- (1) MAGHRI, I., AMEGRISSE, F., MOHAMED, E., KENZ, A., TANANE, O., MOHAMED, T., SALOUHI, M. Comparison of adsorption of dye onto low-cost adsorbents. **Global Journal of Science Frontier Research Chemistry**, v.12, n.4, p.1-6, 2012.
- (2) KARTHIK, V., KAMAL, B., MOHAMMED HANEEF, M.V., MANNARTHIPPUSULTHAN, M.A.M. Removal of dyes and metals using natural adsorbents. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, v.7, n.3, p.77-82, 2015.
- (3) KEBAILI, M., DJELLALI, S., RADJAI, M., DROUICHE, N., LOUNICI, H. Valorization of orange industry residues to form a natural coagulant and adsorbent. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v.64, p.292-299, 2018.
- (4) SUN, Q., SARATALE, R. G., SARATALE, G. D. KIM, DONG-SU. Pristine and modified radix of *Angelicae dahuricae* (Baizhi) residue for the adsorption of methylene blue from aqueous solution: A comparative study. **Journal of Molecular Liquids**, v.265, p.36-45, 2018.
- (5) RIBEIRO^A, A.V.F.N., SILVA, A. R., SILVARES, P. H. S., LOIOLA, A. O., MONTEIRO, F. C., PEREIRA, M. G., RIBEIRO, J. N. Evaluation of liquorice *Glycyrrhiza glabra* L. root powder as a new adsorbent in the removal of textile dyes in aqueous medium. **International Journal Advanced Research**, v.6, n.8, p.278-290, 2018.
- (6) MUNAGAPAT, V.S., YARRAMUTHI, V., KIM, Y., LEE, K.M., KIM, D.S. Removal of anionic dyes (Reactive Black 5 and Congo Red) from aqueous solutions using Banana Peel Powder as an adsorbent. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.148, p.601-607, 2018
- (7) RAYMUNDO, A.S., ZANAROTTO, R., BELISÁRIO, MARCIELA., PEREIRA, M.G., RIBEIRO, J.N., RIBEIRO, A.V.F.N. Evaluation of sugar-cane bagasse as

bioadsorbent in the textile wastewater treatment contaminated with carcinogenic congo red dye. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.53, p. 931-938, 2010.

(8) WANG, Q.Y., WANG, Q., WANG, Y. X., CHEN, L.Y. A green composite hydrogel based on cellulose and clay as efficient absorbent of colored organic effluent. **Carbohydrate Polymers**, v.210, p.314-321, 2019.

(9) PEREIRA, M.G., KORN, M., SANTOS, B.B., RAMOS, M.G. Vermicompost for tinted organic cationic dyes retention. **Water Air Soil Pollution**, v.200, p.227-235, 2009.

(10) BATES, L. Humic Substances and natural organic matter. **Nova Science Publishers**, New York, 2016.

(11) MATOS, G. D., ARRUDA, M. A. Z. Vermicompost as natural adsorbent for removing metal ions from laboratory effluents. **Process Biochemistry**, v.39, p.81-88, 2003.

(12) DURÁN-CARRASQUERO, A., FLORES, I. Evaluation of lead (II) immobilization by vermicompost using adsorption isotherms and IR spectroscopy. **Bioresource Technology**, v.100, p.1691-1694, 2009.

(13) PEREIRA, M. G., ARRUDA, M. A. Z. Vermicompost as a Natural Adsorbent Material: characterization and Potentialities for Cadmium Adsorption, **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 4, n.1, p.39-47, 2003.

(14) ZHU, X., BAO, L., WEI, Y., MA, J., KONG, Y. Removal of toxic indigo blue with integrated biomaterials of sodiumcarboxymethyl cellulose and chitosan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.91, p.409-415, 2016.

(15) CHATTERJEE, S., CHATTERJEE, S., CHATTERJEE, B.P., GUHA, A.K. Adsorptive removal of congo red, a carcinogenic textile dye by chitosan hydrobeads:

Binding mechanism, equilibrium and kinetics. **Colloid Surface A.**, v.299, p.146-152, 2007.

(16) MOREIRA, C. M. **Efeitos ecotóxicos dos corantes índico sintético e natural sobre a microalga *Raphidocelis subcapitata* e sobre o peixe *Danio rerio***. Sorocaba: 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2019.

(17) RIBEIRO, J.N., RIBEIRO, A.V.F.N., MONTEIRO, F.C., LICINIO, M.V.V.J., PEREIRA, M.G. Study of the ziziphus joazeiro peel for indigo blue adsorption. **International Journal Advanced Research**, v.7, n.3, p.171-178, 2019.

(18) ALVES, M.T.R., TERESA, F.B., NABOUT, J.C. A global scientific literature of research on water quality indices: trends, biases and future directions. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v.26, n.3, p.245-253, 2014.

(19) RIONEGRO. **En La Angostura el agua es perfectamente potable**. 2011. Disponível em: https://www.rionegro.com.ar/en-la-angostura-el-agua-es-perfectamente-potable-CURN_638208/. Acesso em: 15 jun. 2020.

(20) ROCHA, C.H.B., COSTA, H.F., AZEVEDO, L.P. Heavy metals in the São Mateus Stream Basin, Peixe River Basin, Paraíba do Sul River Basin, Brazil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v.14, n.13, p.1-13, 2019.

(21) WATER POLLUTION 2020. **15th International Conference on Monitoring, Modelling and Management of Water Pollution**. 30 September–2 October 2020, Valencia, Spain. Disponível em: <https://www.wessex.ac.uk/conferences/2020/water-pollution-2020>. Acesso em: 16 jun. 2020.

(22) GOMES, A., L.C., CHIPARI-GOMES, A.R., MIRANDA, T.O., PEREIRA, T.M., MERÇONA, J., DAVELA, V.C., BARBOSA B.V., PEREIRA, A.C.H., FROSSARDA, A., RAMOSA, J.P.L. Genotoxicity effects on *Geophagus brasiliensis* fish exposed to Doce River water after the environmental disaster in the city of Mariana, MG, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**. v.79, n.4, p.659-664, 2019.

(23) CARMO, R.F., EVANGELISTA, H.S., TRINDADE FILHO, O.L., FLORES, A.V., RIBEIRO, J.N., PEREIRA, M.G., LICINIO, M.V.V.J. Dose estimation and calculation of radiological hazard index at Doce River / Brazil due to Fundão dam rupture. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**. v.6, p.1-22, 2018.

(24) FLORES, A.V., NEVES, A.A., QUEIROZ, E.L.R.; RIBEIRO, J.N. Organoclorados: um problema de saúde pública. **Ambiente e Sociedade** (Campinas), BRASIL, v. 7, n.2, p. 111-124, 2004.

(25) HAMID, K., MASUD, Y., SIMIN N., AMIR, H.M., REZA, A., NOUSHIN, R., RAMIN, N. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in drinking water of Tehran, Iran. **Journal of Environmental Health Sciences & Engineering**. v.11, n.25, p.2-7, 2013.

(26) KATHLEEN, M.G., SARAH, J.B., STEPHEN, W.E., BRAD, R., TODD, J.Z., BRANNON, B., KIRK, W., SHASHA, B., CRAIG, A.C. Chronic exposure to water pollutant trichloroethylene increased epigenetic drift in CD4+ T cells. **Epigenomics**, v.8, n.5, p.633-649, 2016.

(27) QUESADA, H.B, BAPTISTA, A.T.A., CUSIOLI, L.F., SEIBERT, D., BEZERRA, C.O., BERGAMASCO, R. Surface water pollution by pharmaceuticals and an alternative of removal by low-cost adsorbents: A review. **Chemosphere**, v.222, p.766-780, 2019.

(28) KOMBOONCHOO, S., BECHTOLD, T. Natural dyeing of wool and hair with indigo carmine (C.I. Natural Blue 2), a renewable resource based blue dye. **Journal of Cleaner Production**, v.17 p.1487–1493, 2009.

(29) MIA, R., SELIM, M.D., AL MOJNUN, S., MIRADUZZAMAN, C., SURAIYA, S., MANIJAH, A., MUSFIC., H., ROZINA, A., SHUVO, D., HASNUN, N. Review on various types of pollution problem in textile dyeing & printing industries of Bangladesh and recommendation for mitigation. **Journal of Textile Engineering & Fashion Technology**, v.4, p.220-226, 2019.

(30) SILVA, M.R.A., OLIVEIRA, M.C., NOGUEIRA, R.F.P.. Estudo da aplicação do processo foto-Fenton solar na degradação de efluentes de indústria de tintas. **Eclética Química**, v.29, n.2, p.19-26, 2004.

(31) MELO, K.S.G. **Extração e uso de corantes vegetais da Amazônia no tingimento do couro de Matrinxã** (Brycon amazonicu Spix & Agassiz, 1819). Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas, Ciências Agrárias, Ciências Humanas) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2007.

(32) SAJJAD, H., NADEEM, K., SAIMA, G., SABIR, K., AMMAD K. Contamination of water resources by food dyes and its removal technologies, **Water Chemistry**, MURAT, E., EBUBEKIR, Y. IntechOpen. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/water-chemistry/contamination-of-water-resources-by-food-dyes-and-its-removal-technologies>. Acesso em: 17 jun. 2020.

(33) GUARATINI, C.C.I., ZANONI, M.V.B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v.23, n.1, p.71-78, 2000.

(34) YASEEN, D.A., SCHOLZ, M. Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v.16, p.1193-1226, 2019.

(35) FRANÇA, F. Com água azulada, poluição em rio de João Pessoa, preocupa população. 2015. **Jornal da Paraíba**. Disponível em: https://www.jornaldaparaiba.com.br/vida_urbana/com-agua-azulada-poluicao-em-rio-de-joao-pessoa-preocupa-populacao.html. Acesso em: 17 jun. 2020.

(36) DUBEUX, V.M.P. **A poluição do Rio Capibaribe e seus efeitos sócios ambientais**. 2019. Disponível em: <https://medium.com/youth-for-human-rights-brasil/a-polui%C3%A7%C3%A3o-do-rio-capibaribe-e-seus-efeitos-socioambientais-c514b9982ef7>. Acesso em 17 jun. 2020.

(37) ALVES, A.T.A., SILVA, L.T.M.S., ALCÂNTARA, L.R.P., BARROS, V.H.O., NETO, S.M.S., LIMA, V.F., LIMA, J.R.S., COUTINHO, P.A., ANTONINO, A.C.D. Sorption of

Remazol Black B dye in alluvial soils of the Capibaribe River Basin, Pernambuco, Brazil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.15, n.2, p.1-12, 2020.

(38) CARNEIRO, P.A., UMBUZEIRO, G.A., OLIVEIRA, D.P., ZANONI, MVB. Assessment of water contamination caused by a mutagenic textile effluent/dyehouse effluent bearing disperse dyes. **Journal of Hazardous Materials**, v.174, p.694–699, 2010.

(39) KAWSER, A., DAS, M., ISLAM, M., AKTER, M.S., ISLAM, S., AL-MANSUR, M.A. Physico-chemical properties of tannery and textile effluents and surface water of River Buriganga and Karnatoli, Bangladesh. **World Applied Sciences Journal**, v.12, n.2, p.152-159, 2011.

(40) DEY, S., ISLAM, A. A Review on Textile Wastewater Characterization in Bangladesh. **Resources and Environment**, v.5, n.1, p.15-4, 2015.

(41) MATHUR, N., P. BHATNAGAR, P., BAKRE, P. Assessing mutagenicity of textile dyes from pali (rajasthan) using ames bioassay. **Applied Ecology and Environmental Research**, v.4, n.1, p.111-118, 2005.

(42) CHINADIALOGUE. **Textile industry under pressure to detox fashion**. 2018. Disponível em: <https://www.chinadialogue.net/article/show/single/en/10928-Textile-industry-under-pressure-to-detox-fashion>. Acesso em 18 jun 2020.

(43) A GAZETA. **Rio aparece com coloração roxa e causa susto em Santa Maria de Jetibá**. 2020. Disponível em: <https://www.agazeta.com.br/es/montanhas/rio-aparece-com-coloracao-roxa-em-santa-maria-de-jetiba-0120>. Acesso em: 18 jun. 2020.

(44) MARMITT, S., FREIBERGER, G., STÜLP, S. Avaliação da degradação de corantes por processos oxidativos avançados: proposta de tecnologia limpa. **Revista Destaque Acadêmicos CETEC/Univates**, v.1, n.4, p.33-41, 2009.

- (45) PRZYBYLEK, S. **Introduction to Textiles & the Textile Industry**. Chapter 6: Textile Dyes: History, Toxicity & Pollution. 2003.
- (46) SAHRAEIA, R., FARMANYB, A., MORTAZAVIC, S.S., NOORIZADEH, H. Spectrophotometry determination of Congo red in river water samples using nanosilver. **Toxicological & Environmental Chemistry**, v.94, n.10, p.1886-1892, 2012.
- (47) KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S.G.; DURAN, N. Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. **Revista Química Nova**, v.25, p.78-82, 2002.
- (48) NOVOTNÝ.C.; DIAS, N.; KAPANEN, A.; MALACHOVÁ, K.; VÁNDROVCOVÁ, M.; ITÄVAARA, M.; LIMA, N. Comparative use of bacterial, algal and protozoan testes to toxicity of azo and anthraquinone dyes. **Chemosphere**, v.63, p.1436-1442, 2006.
- (49) HERNÁNDEZ-ZAMORA, M., MARTÍNEZ-JERÓNIMO, F., CRISTIANI-URBINA, E., CAÑIZARES-VILLANUEVA, R.O. Congo red dye affects survival and reproduction in the *Cladoceran ceriodaphnia dubia*. Effects of direct and dietary exposure. **Ecotoxicology**, v.25, n.10, p.1832-1840, 2016.
- (50) RINDE, E., TROLL, W. Metabolic reduction of benzidine Azo-dye to benzidine in the rhesus monkey. **Journal of the National Cancer Institute**, v.55: p.181-182, 1975.
- (51) OBI, F.O., MADUKA, H.C.C., ZUBAIRU, I. Assessment of Congo Red-induced liver damage by selected serum transaminase levels. **Journal of Medical Sciences**, v.3, p.157-162, 2003.
- (52) HSU, T.M., WELNER, D.H., RUSS, Z.N., CERVANTES, B., PRATHURI, R.L., ADAMS, P.D., DUEBER, J.E. Employing a biochemical protecting group for a sustainable indigo dyeing strategy. **Nature Chemical Biology**, v.14, p.256-261, 2018.

(53) ANTONI, B.M.D., IRACA, F., ROMERO M. Current treatment technologies and practical approaches on textile wastewater dyes removal. **Panta Rei Water Solutions** p.1-9, 2017.

(54) BHATTACHARYA, S., DAS, A., MANGAI, G., VIGNESH, K., SANGEETHA. J. Mycoremediation of congo red dye by filamentous fungi. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.42, p.1526-1536, 2011.

(55) DELLAMATRICE, P.M., SILVA-STENICO, M.E., MORAES, L.A.B., FIORE, M.F., MONTEIRO, R.T.R. Degradation of textile dyes by cyanobacteria. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.38, p.25-31, 2017.

(56) TZITZI, M., VAYENAS, D.V., LYBERATOS, G. Pretreatment of textile industry wastewater with ozone. **Water Science & Technology**, v.29, n.9, p.151–160, 1994.

(57) VINODGOPAL, K., KAMAT, P.V. Photochemistry of textile azo dyes. Spectral characterization of excited state, reduced and oxidized forms of Acid Orange 7. **Journal of Photochemistry and Photoobiology. A: Chem**, v.83 p.141-146, 1994.

(58) PIECZYŃSKA, A., OSSOWSKI, T., BOGDANOWICZ, R., SIEDLECKA, E. Electrochemical degradation of textile dyes in a flow reactor: effect of operating conditions and dyes chemical structure. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v.16, p.929-942, 2109.

(59) LEDAKOWICZ, S., BILIŃSKA, L., ŻYŁŁA, R. Application of Fenton's reagent in the textile wastewater treatment under industrial conditions. **Ecological Chemistry and Engineering S**, v.19, n.2, p.163,174, 2012.

(60) ANDRADE, M., CARVALHO, M.A.F., MIRANDA, A.S., MARQUES, H.R., CAMPOS, S.R., BRITO, N.N. Remediation of textile dyes mixtures using TiO₂/VIS photocatalysis and Fenton Fe²⁺/H₂O₂. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.9, n.4, p.328-338, 2015.

(61) FRANCISCHETTI, J. **Remoção de Metais Pesados em Efluentes Líquidos Através da Filtração Adsorptiva**. Florianópolis: 2004. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2004.

(62) NASCIMENTO, R.F.L., VIDAL, A.C.A., MELO, C.B., RAULINO, D.C., CABRAL, G.S. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 1ª Edição, Editora Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 256p. 2014.

(63) CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Florianópolis: 2003. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

(64) SCHNEIDER, E.L. **Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado**. Toledo: 2008. 93f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

(65) HAGHSERESHT, F., NOURI, S., FINNERTY, J.J., LU, G.Q. Effects of surface chemistry on aromatic compound adsorption from dilute aqueous solutions by activated carbon. **The Journal of Physical Chemistry B**, v.106, n.42, p.10935-10943, 2002.

(66) DOMINGUES, V.M.F. **Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides em águas**. Porto: 2005. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2005.

(67) LÁSZLÓ, K., PODLOSCIELNY, P., DABROWSKI, A. Heterogeneity of activated carbons with different surface chemistry in adsorption of phenol from aqueous solutions. **Applied Surface Science**, v.252 p.5762-5762, 2005.

(68) BACCAR, R., BOUZID, J., FEKI, M., MONTIEL, A. Preparation of activated carbon from Tunisian olive-waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions. **Journal of Hazardous Materials**, v.162, p.1522–1529, 2009.

(69) LADERQUIMICA. **Carvão ativado pó PA 1kg Synth**. 2020. Disponível em: <https://www.laderquimica.com.br/carvao-ativado-po-pa-1kg-synth>. Acesso em: 9 out. 2020.

(70) DEBRASSI, A., LARGURA, M.C.T., RODRIGUES, C.A., Adsorção do corante vermelho congo por derivados de O-carboximetilquitosana hidrofobicamente modificado. **Química Nova**, v.34, n.5, p.764-770, 2011.

(71) ALFARRA, R.S., ALI, N.E., YUSOFF, M.M. Removal of heavy metals by natural adsorbent: review. **International Journal of Biosciences**, v.4, n.7, p.130-139, 2014.

(72) SALAM, O.E.A., REIAD,N.A., ELSHAFEI, M.M. A study of the removal characteristics of heavy metals from wastewater by low-cost adsorbents. **Journal Advanced Research**, v.2, p.297-303, 2011.

(73) QUESADA, H.B., BAPTISTA, A.T.A.,CUSIOLI, L.F., SEIBERT, D., BEZERRA, C.O., BERGAMASCO, R. Surface water pollution by pharmaceuticals and an alternative of removal by low-cost adsorbents: A review. **Chemosphere**, v.222, p.766-780, 2019.

(74) RIBEIRO, A.V.F.N., RIBEIRO, J.N., OLIVEIRA, J.P., LEAO, R.T., CUNHA, T.P. Green mesocarp coconut for treatment of weater contaminated with paracetamol and tetracycline. **International Journal of Scientific Research**, v.5, p.319-323, 2016.

(75) RIBEIRO, A.V.F.N., BELISÁRIO, M., GALAZZI, R.M., BALTHAZAR, D.C., PEREIRA, M.G., RIBEIRO, J.N. Evaluation of two bioadsorbents for removing paracetamol from aqueous media. **Electronic Journal of Biotechnology**, v.14, p.1-8, 2011.

(76) BAKOURI, H.E., MORILLO, J., USERO, J., OASSINI, A. Natural attenuation of pesticide water contamination by using ecological adsorbents: Application for chlorinated pesticides included in European Water Framework Directive. **Journal of Hydrology**, v.364, p.175–181, 2009.

(77) ROTAR, O., ROTAR, V., ISKRIZHITSKY, A., SHARIPOV, Z., PINEMOVA, A. Adsorption of hydrocarbons using natural adsorbents of plant origin. **Procedia Chemistry**, v.15, p.231-236, 2015.

(78) MATTAR, M.S., COSTA, H.B., BELISÁRIO, M. Bioadsorbents utilization in dyes removal from textile industry effluents. **Analytica**, v.60, p.1-7, 2013.

(79) MIRADUZZAMAN, C., MOHAMMAD, B.H. Removal of various textile dyes from aqueous solution using low cost biodegradable adsorbent. **European Scientific Journal**, v.14, p.298-311, 2018.

(80) MOHD, R., OTHMAN, S., ROKIAH, H., ANEES, A. Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. **Journal of Hazardous Materials**, v.177, n.1-3, p.70-80, 2010.

(81) RASHMI, S., BANI B. Review on decolorisation of aqueous dye solutions by low cost adsorbents. **Coloration Technology**, v.118, n.5, p.256-269, 2002.

(82) CRINI, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. **Bioresource Technology**, v.9, p.1061-1065, 2020.

(83) DÁVILA-JIMÉNEZ, M.M., ELIZALDE-GONZÁLES, M.P., PELÁEZ-CID, A.A. Adsorption interaction between natural adsorbents and textile dyes in aqueous solution. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v.254, n.1-3, p.107-114, 2005.

(84) NASSAR, M.M., EL-GEUNDI, M.S., Comparative cost of colour removal from textile effluents using natural adsorbents. **Journal of Chemical Technology and Biothechnology**, v.50, n.2, p.257-264, 1991.

(85) WANG, H., YUAN, X., ZENG, G., LENG, L., PING, X., LIAO, K., PENG, L., XIAO, Z. Removal of malachite green dye from wastewater by different organic acid-modified natural adsorbent: kinetics, equilibriums, mechanisms, practical application, and

disposal of dye-loaded adsorbent. **Environmental Science and Pollution Research**, v.21, p.11552–11564, 2014.

(86) COSTA, J.A.S., PARANHOS, C.M. Evaluation of rice husk ash in adsorption of Remazol Red dye from aqueous media. **SN Applied Sciences**, v.1, p.397-397, 2019

(87) BELISÁRIO, M., ZANAROTTO, R., SARTÓRIO, A.R., RIBEIRO, J.N., RIBEIRO, A.V.F.N. A casca de banana como bioadsorvente na remoção de corantes tóxicos presentes em efluentes industriais. **Analytica**, v.48, p.95-102, 2010.

(88) MULLER, L.C., ALVES, A.A.A., MONDARDO, R.I., SEN, M.L. Methylene blue adsorption in *Pinus elliottii* (pine) and *Drepanostachyum falcatum* (bamboo) sawdust. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.24, n.4, p.687-695, 2019.

(89) SILVA, L.G., RUGGIERO, R., GONTIJO, P.M., PINTO, R.B., ROYER, B., LIMA, E.C., FERNANDES, T.H.M., CALVETE, T. Adsorption of Brilliant Red 2BE dye from water solutions by a chemically modified sugarcane bagasse lignin. **Chemical Engineering Journal**, v.168, n.2, p.620-628, 2011.

(90) LAFI, R., BEN FRADJ, A., HAFIANE, A., HAMEED, B.H. Coffee waste as potential adsorbent for the removal of basic dyes from aqueous solution. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v.31, n.12, p.2198-2206, 2014.

(91) MELLO, V.F.B., GAMA, J., FERREIRA, J.M., BARAUNA, O.S., JUCÁ, J.F.T., MOTTA SOBRINHO, M.A. Study and characterization of properties smectite clay on removal of textile dyes. **Revista Matéria**, v.18, n.4, p.1467-1482, 2013.

(92) ANTUNES, M.L.P., CAMARGO, S.R.G., JESUS, C.P., RUSSO, A.C. Estudo da utilização de serragem de madeira como adsorvente para tratamento de efluentes têxteis. **Revista de Estudos Ambientais** (Online), v.12, n.2, p.6-14, 2010.

(93) STEFFEN, G.P.K. Utilização de vermicomposto como substrato na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*. **Brazilian Journal of Forestry Research**, v.51, n.66, p.75-82, 2011.

(94) FAVARO, A.N. caracterização de vermicomposto produzido com palha de café e esterco bovino. **Revista Caatinga**, v.28, n.4, p.1-9, 2015.

(95) SHIRAZI, E.K., METZGER, J.W., FISCHER, K., HASSANI, A.H. Simultaneous removal of a cationic and an anionic textile dye from water by a mixed sorbent of vermicompost and Persian charred dolomite. **Chemosphere**, v.234, p.618-629, 2019.

(96) RIBEIRO, A.V.F.N., SILVA, A.R., CUNHA, T.P., SANTOS, R.T.L., OLIVEIRA, J.P., PEREIRA, E.V., LICINIO, M.V.V.J., PEREIRA, M.G., SANTOS, A.V., RIBEIRO, J.N. Banana peel for acetylsalicylic acid retention. **Journal of Environmental Protection**, v.7, p.1850-1859, 2016.

(97) YURTSEVER, M., ŞENGİL, L.A. Biosorption of Pb(II) ions by modified quebracho tannin resin. **Journal of Hazardous Materials**, v.163, n.1, p.58-64, 2009.

(100) KUMAR, D.S., KUMAR, P.S., RAJENDRAN, N.M., ANBUGANAPATHI, G. Compost Maturity Assessment Using Physicochemical, Solid-State Spectroscopy, and Plant Bioassay Analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.61, p.11326-11331, 2013.

(101) PEREIRA, M.G., MATOS, T.C., SANTOS, N.C.V., SANTOS, A.M., NETA, L.C.S., RIBEIRO, J.N., RIBEIRO, A.V.F.N., OLIVEIRA, J.P., GUIMARAES, M.C.C., LICINIO, M.V.V.J. Evaluation of Vermicomposts for Decontaminating Aqueous Media Containing Metallic Ions and Synthetic Dyes. In: Laurence Bates. (Org.). Humic Substances and Natural Organic Matter. 1ed. Hauppauge NY (US): **Nova Science Publishers**, v.1, p.83-114, 2016.

(102) STEVENSON, F.J. **Humus, Chemistry, Genesis, Composition, Reactions**, John Wiley, New York, 1982.

(103) LANDGRAF, M.D., SILVA, S.C., REZENDE, M.O.O. Mechanism of metribuzin herbicide sorption by humic acid samples from peat and vermicompost. **Analytica Chimica Acta**, v.368, p.155-164, 1998.

- (104) SILVERSTEIN, R.M., BASLLER, G.C. AND MORRIL, T.C. Spectrotometry Identification of Organic Compouds. 3rd Edition, **John Willey & Sons, Hoboken.** 1979.
- (105) STEVENSON, F.J., GOH, K. M. Infrared spectra of humic acids and related substances, **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 35, p. 471-483, 1971.
- (106) LANDGRAF, M. D., DA SILVA, S. C., REZENDE, M. O. O. Mechanism of metribuzin herbicide sorption by humic acid samples from peat vermicompost. **Analytica Chimica Acta**, 368 (1-2), 155-164, 1998.
- (107) RAJESHWARI, S., NAMASIVAYAM, C., KADIRVELU K. Orange pell as an adsorbent in the removal of acid violet 17 (acid dye) from aqueous solutions. **Applied Water Science**, v.21, n.1, p.105-110, 2001.
- (108) RIBEIRO^B, A.V.F.N., SILVA, A.R., PEREIRA, M.G., LICINIO, M.V.V.J., RIBEIRO, J.N. Wood sawdust powder from corymbia citriodora to congo red toxic dye adsorption. **Indian Journal of Applied Research**, v.8, p.449-451, 2018.
- (109) ETIM, J.U., UMOREN, S.A., EDUOK, U.M. Coconut coir dust as a low cost adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solution, **Journal of Saudi Chemical Society**, v.20, p.67-76, 2016.
- (110) SHINZATO, M.C., MONTANHEITO, T.J., JANASI, V.A., ANDRADE, S., YAMAMOTO, J.K. Removal of Pb²⁺ and Cr³⁺ from aqueous solution by natural zeolites associated with eruptive rocks from the serra geral formation, paran sedimentary basin. **Química Nova**, v.32, n.8, p.1989-1994, 2009.
- (111) KAUSHAL, A., SING, S. K. Critical analysis of adsorption data statistically. **Applied Water Science**, v.7, p.3191-3196, 2017.
- (112) FOO, K.H., HAMEED, B.H. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. **Chemical Engineering Journal**, v.156, p.2–10, 2010.

(113) LANGMUIR, I. The constitution and fundamental properties of solids and liquids, **Journal of American Chemical Society**, v.38, n.11, p.2221–2295, 1916.

(114) NAMASIVAYAM, C., ARASI, J.S.E. Removal of congo red from wastewater by adsorption onto waste red mud. **Chemosphere**, v.34, p.401-417, 1997.

(115) SHAOGANG, L., YUQIU, D., PENGFEI, L., KAISHENG, D., XUECAI, T., FUHOU, L., YANHUI, Z., QIANGMING, L., BIN, H., ZAIYIN, H. Adsorption of the anionic dye Congo red from aqueous solution onto natural zeolites modified with N,N-dimethyl dehydroabietylamine oxide. **Chemical Engineering Journal**, v.248, p.135–144, 2014.

(116) MEROUFEL, B., BENALI, O., BENYAHIA, M., BENMOUSSA, Y., ZENASNI, S.A. Adsorptive removal of anionic dye from aqueous solutions by Algerian kaolin: Characteristics, isotherm, kinetic and thermodynamic studies, **Journal of Materials and Environmental Science**, v.4, n.3. p.482-491, 2013.

(117) SHRIVER, D.F; ATKINS, P. W. **Química Inorgânica**, 3th ed., Porto Alegre: Bookman, 2003.